Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

1. Projektiranje elektroničkih uređaja i sustava

M. Cifrek, H. Džapo

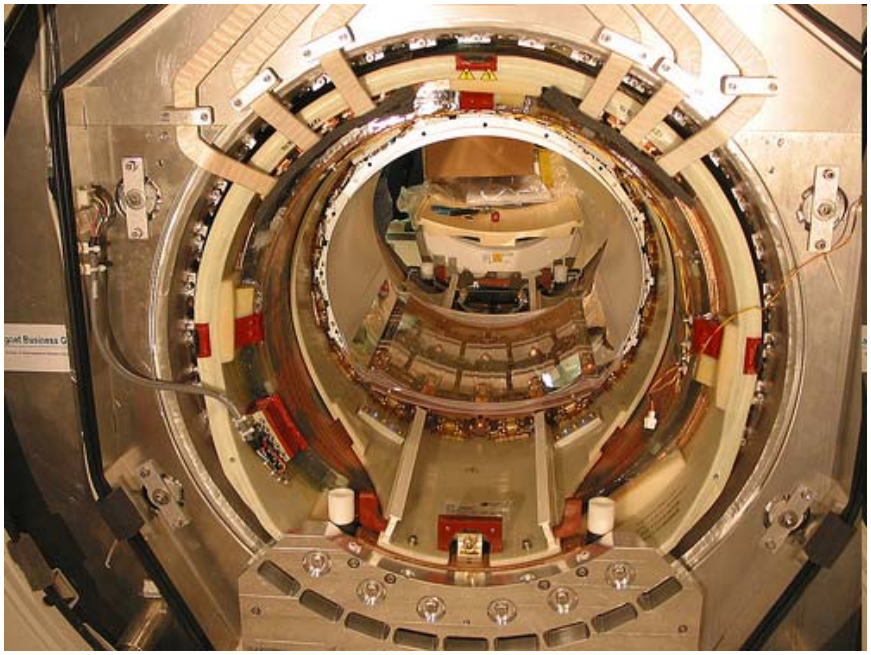
ak.god. 2011./2012.

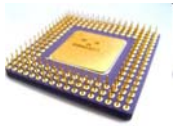
Računalom podržano projektiranje elektroničkih uređaja

A-PDF Merger DEMO : Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

Uvod

- **elektronički uređaj** – sustav međusobno povezanih komponenti
- uređaj je najčešće dio nekog većeg **sustava**
- **komponenta** – sustav “u malom”
- projektiranje elektroničkih uređaja = projektiranje sustava (*systems engineering*)
- projektiranje – rješavanje zadanog problema korištenjem ograničenih vremenskih, ekonomskih, ljudskih, tehnoloških i drugih resursa
- cilj – plasman elektroničkog uređaja na *tržište*

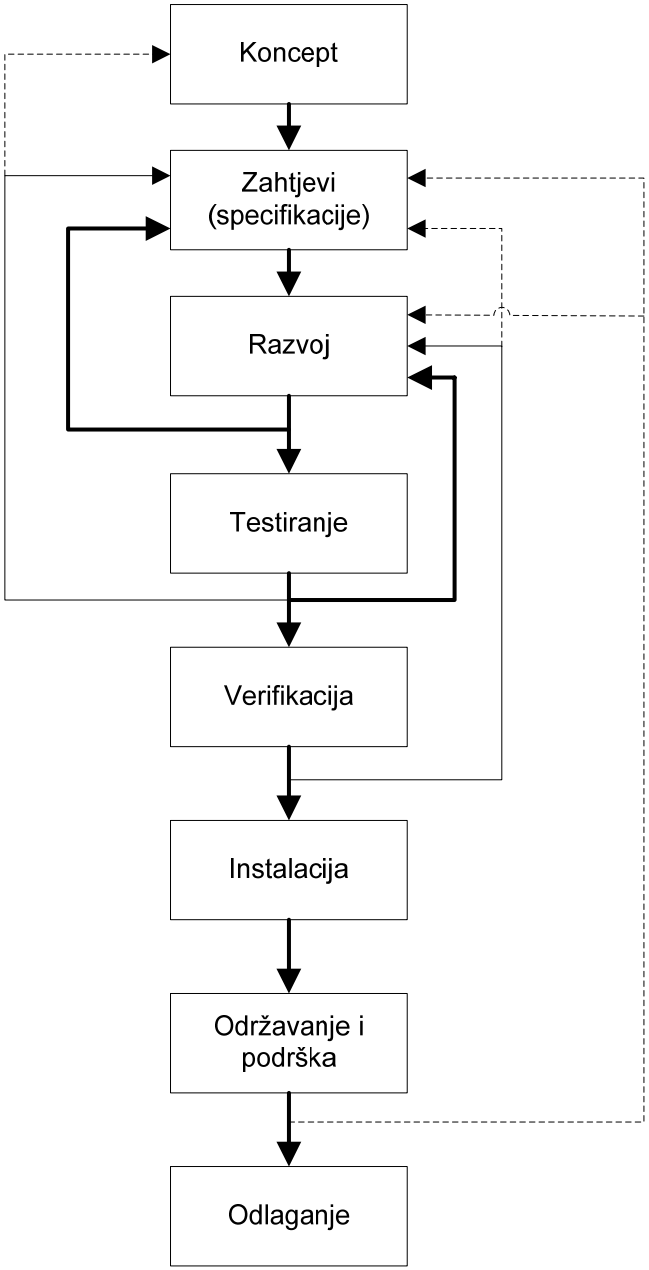




- visoka razina složenosti današnjih elektroničkih uređaja i sustava
- međuovisnost komponenti – podsustava
- sklopovske i programske komponente
- *systems engineering* – upravljanje složenošću

Životni ciklus elektroničkog uređaja:

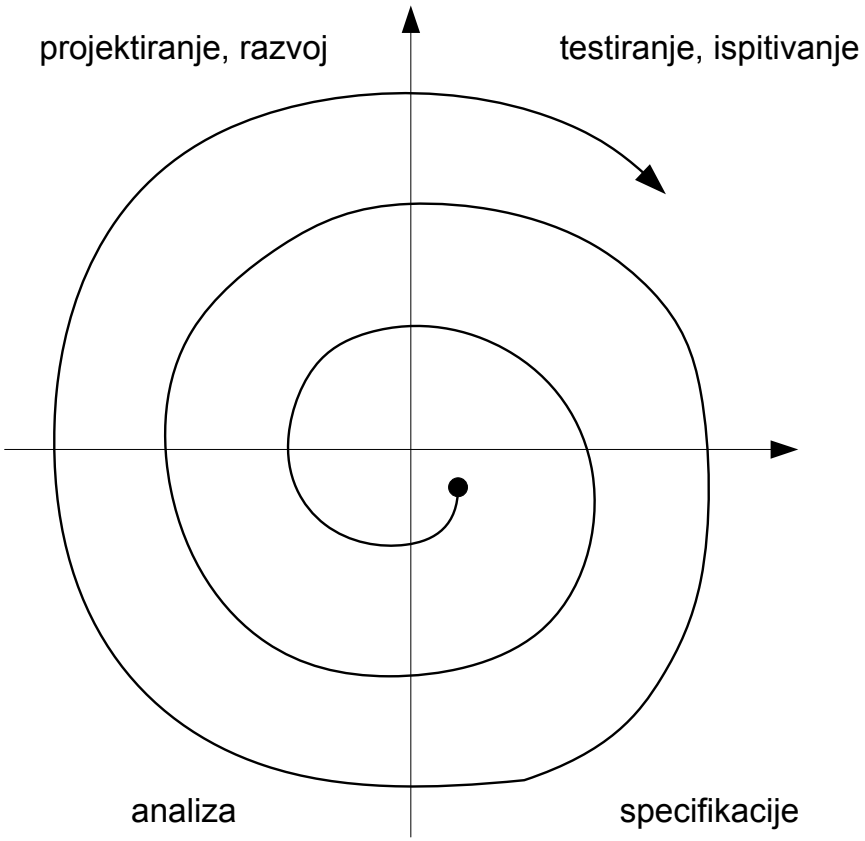
1. Razvoj
2. Verifikacija
3. Eksploatacija (instalacija i održavanje)
4. Odlaganje



Razvoj elektroničkog uređaja

- složeni proces:
  - specifikacije uređaja
    - funkcionalnost uređaja, sukladnost normama
  - studija izvodljivosti
  - odabir odgovarajućih tehnologija
  - koordiniranje ekipe stručnjaka različitih profila
  - klasična dilema: *off-the-shelf* komponente ↔ vlastiti razvoj
  - optimizacija troškova razvoja
  - optimizacija proizvodnih troškova
- cilj: izlazak na tržište ↔ konkurencija!

Razvoj elektroničkog uređaja



Tipična pitanja i ograničenja

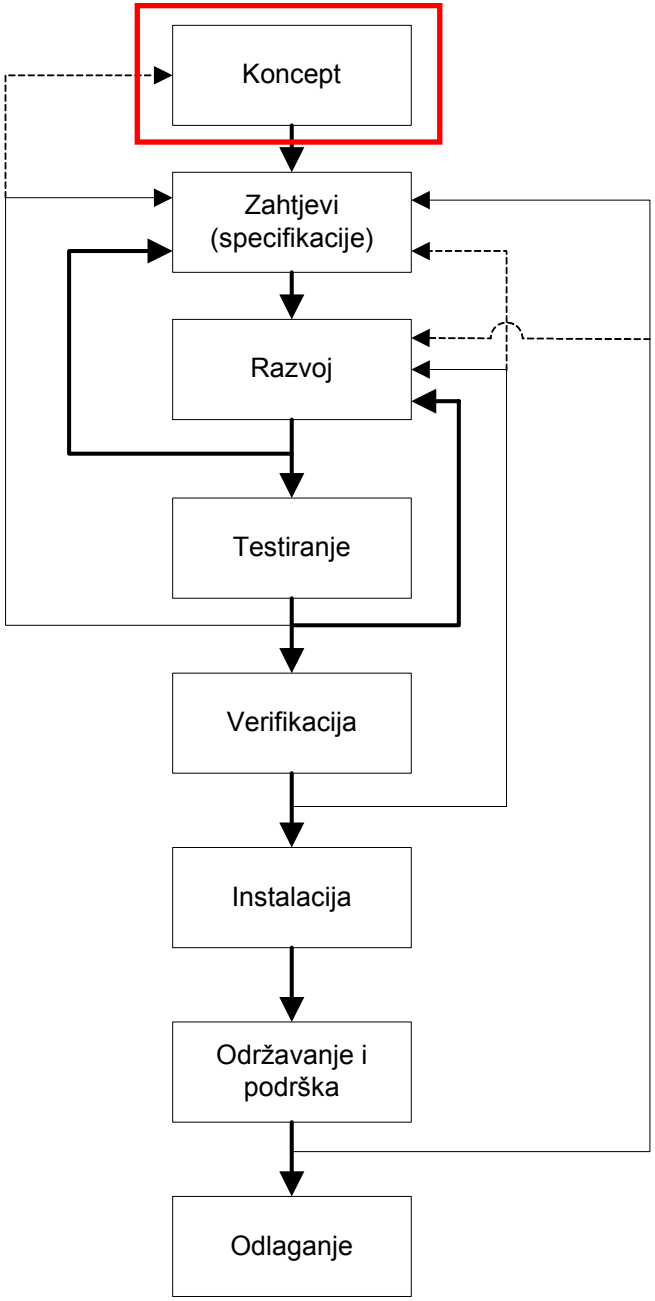
- *funkcionalnost*: da li uređaj udovoljava namjeni?
- *cijena*: da li je proizvodna cijena minimalna?
- *sigurnost*: da li je uređaj siguran za uporabu?
- *pouzdanost*: kada se može očekivati pojava kvara?
- *održavanje*: u slučaju kvara, da li se uređaj može jednostavno i jeftino popraviti?
- *ergonomičnost*: da li je uređaj jednostavan za uporabu i prilagođen korisniku?
- *vremenska ograničenja*: koliko vremena treba za razvoj uređaja (*time-to-market*)?
- itd.

Faktori uspjeha na tržištu

- neki od faktora koji utječu na tržišni uspjeh:
  - funkcionalnost, sukladnost s normama
    - uređaj mora pružiti očekivanu funkcionalnost, uz sukladnost s odgovarajućim normama
  - pouzdanost
    - srednje vrijeme do kvara (MTBF – *mean time between failures*)
    - redundacija – za kritične aplikacije
  - **proizvodljivost** (engl. *producibility*)
    - složenost i cijena proizvodnog postupka
    - pravilo: uređaj treba projektirati tako da se koristi **najjednostavniji proizvodni postupak uz minimalnu proizvodnu cijenu**
    - razmotriti dostupnost proizvodnih tehnologija

Dokumentacija

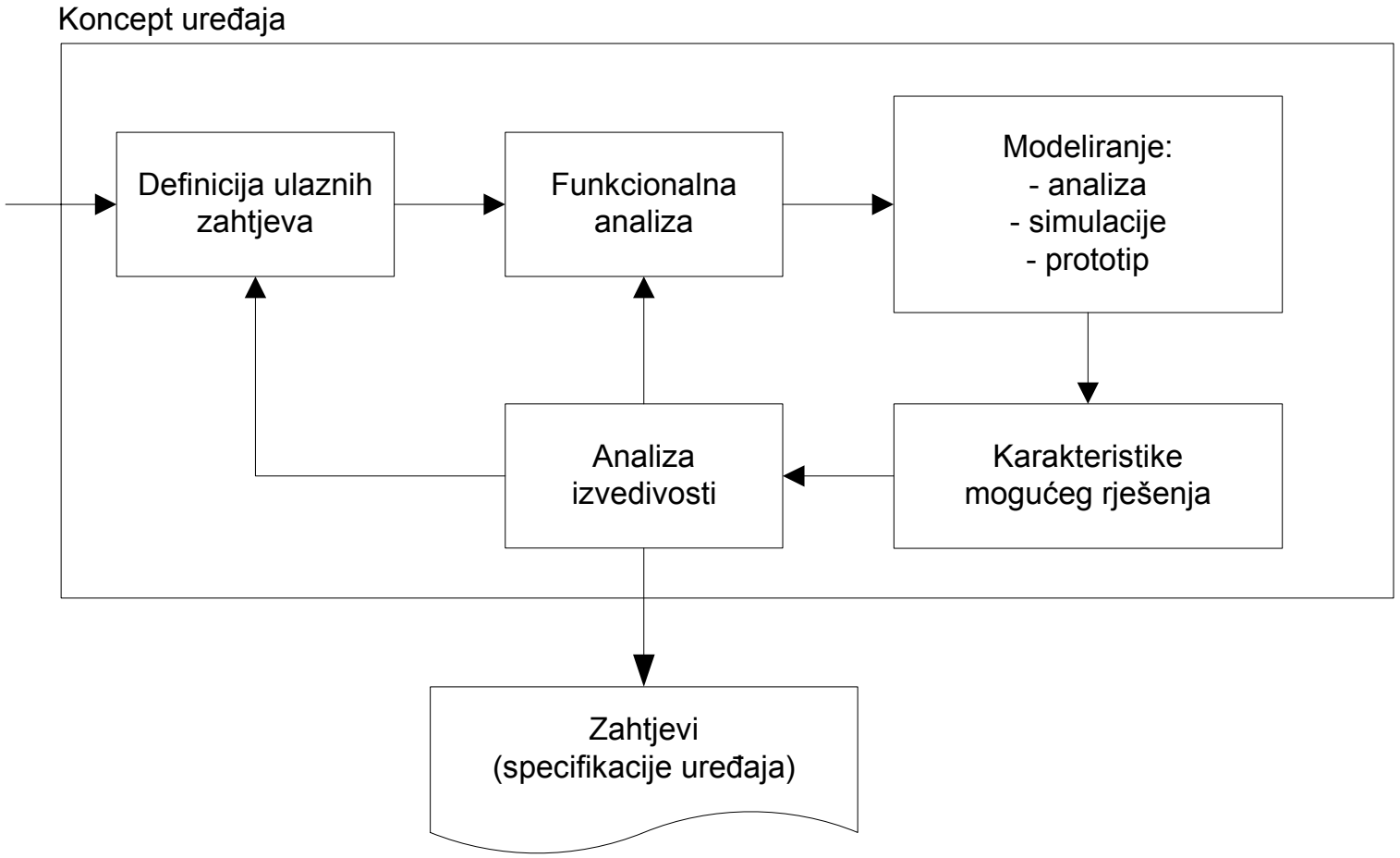
- kvalitetna dokumentacija - nužan preduvjet uspjeha!
- zapis cjelokupnog puta životnog ciklusa uređaja: ideja, ulazni zahtjevi, koncept, specifikacije, razvoj, troškovi i vremenski raspored, testiranje, proizvodnja, upute za uporabu, održavanje...
- percepcija kvalitete uređaja kroz kvalitetu dokumentacije (poglavito korisničke!)
- opseg i sadržaj dokumentacije nastojati uskladiti s potrebama konkretnog projekta – cijeni se jednostavnost i temeljitost

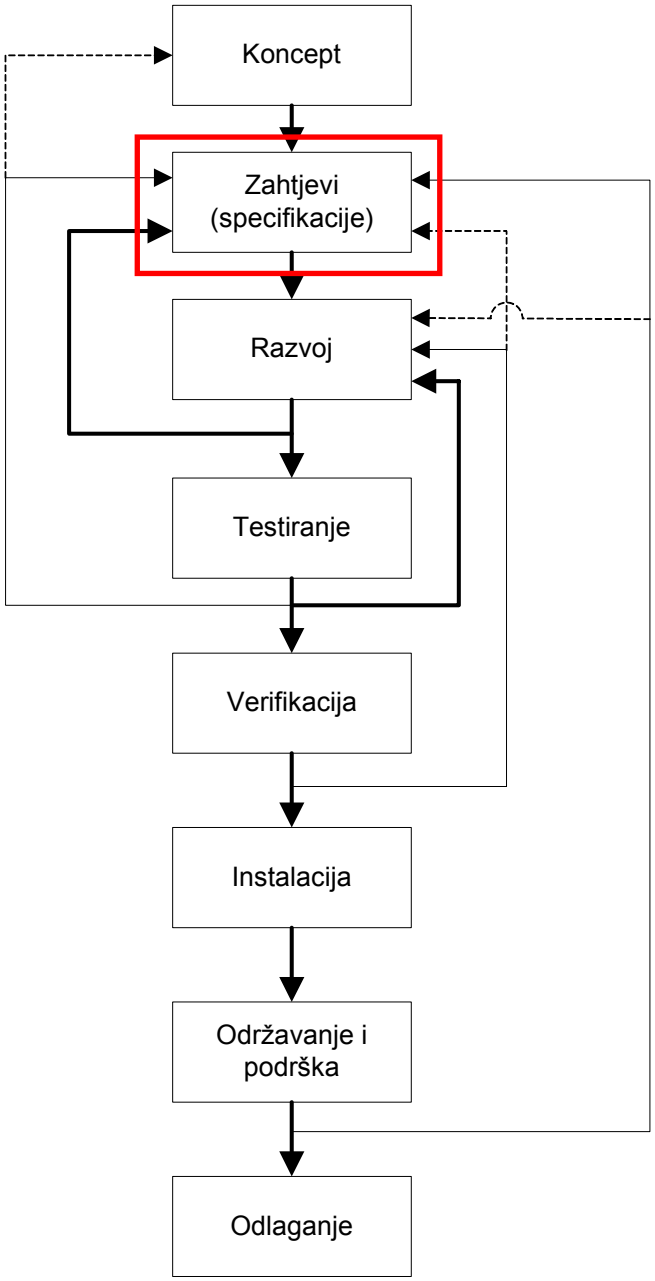

Koncept
Zahtjevi
(specifikacije)
Razvoj
Testiranje
Verifikacija
Instalacija
Održavanje i
podrška
Odlaganje

Koncept uređaja

- za **rješavanje** problema bitno je najprije razumjeti **što** je problem!
- kvalitetna specifikacija ↔ uspjeh projekta:
  - identifikacija zahtjeva **naručitelja** projekta
  - identifikacija potreba **korisnika** uređaja
  - područje primjene i svrha uređaja ("*mission statement*")
  - ograničenja
  - norme koje uređaj treba zadovoljiti
- specifikacija projekta: "*tko-što-gdje-kada?*"
- "*kako?*" – inženjersko projektiranje
- "*zašto*?" – poslovna vizija poduzeća

Koncept uređaja



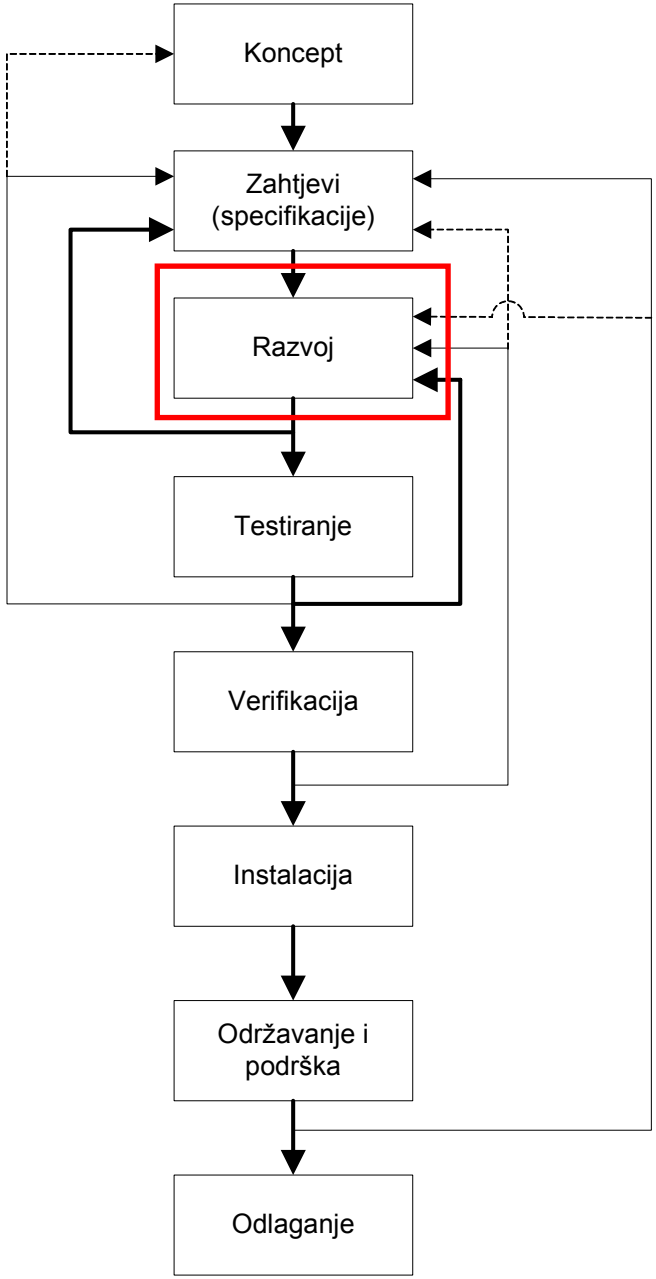

Koncept
Zahtjevi
(specifikacije)
Razvoj
Testiranje
Verifikacija
Instalacija
Održavanje i
podrška
Odlaganje

Zahtjevi (specifikacije uređaja)

- rezultat razvoja koncepta uređaja – odgovor na pitanje "*što*"
- specifikacije = potrebna funkcionalnost i performanse uređaja
- definiraju točno "*što*" treba napraviti, ali ne i "*kako*"
- omogućavaju praćenje razvoja projekta:
  - vremenski raspored aktivnosti, kontrolne točke (*milestones*), rezultati (*deliverables*)
- oprez: u praksi, specifikacije su često podložne naknadnim promjenama!
  - nedovoljno razrađeni ulazni zahtjevi
  - naknadno dobivene informacije
  - "*creeping freaturism problem*"
    - "*dodajte još samo ovu sitnicu...*"
  - važnost dobre procjene i balansa prilikom usvajanja naknadnih zahtjeva

Specifikacije - primjer

Općeniti tipovi zahtjeva	**Primjeri parametara**
Karakteristike uređaja	Mjerna nesigurnost, frekvencijski opseg, brzina rada, dimenzije, masa, potrošnja, korisnost, izdržljivost u nepovoljnim vanjskim uvjetima (temperatura, vlaga, vibracije, EMI), zaštite
Norme	IEC, ANSI, IEEE, Comformite Europeene (CE), DO-168B/178B (vojne), FDA (biomedicinske), RoHS ...
Pouzdanost i održavanje	Srednje vrijeme do kvara (MTBF), učestalost kvarova, trajanje servisa (MTTPR)
Ljudski faktor i korisničko sučelje	Intuitivnost i lakoća korištenja, kašnjenje reakcije, broj operacija u sekvenci, da li je potreban stručnjak za rad s uređajem
Sigurnost i pojava kvara	Analiza mogućih kvarova i njihovih posljedica, načini uklanjanja kvarova
Režim rada i okoliš	Radni omjer, lokacija, temperatura okoline, raspon opterećenja (*stress range*)
Servisiranje	Interval servisiranja, razina osposobljenosti servisnog osoblja, postupak servisiranja

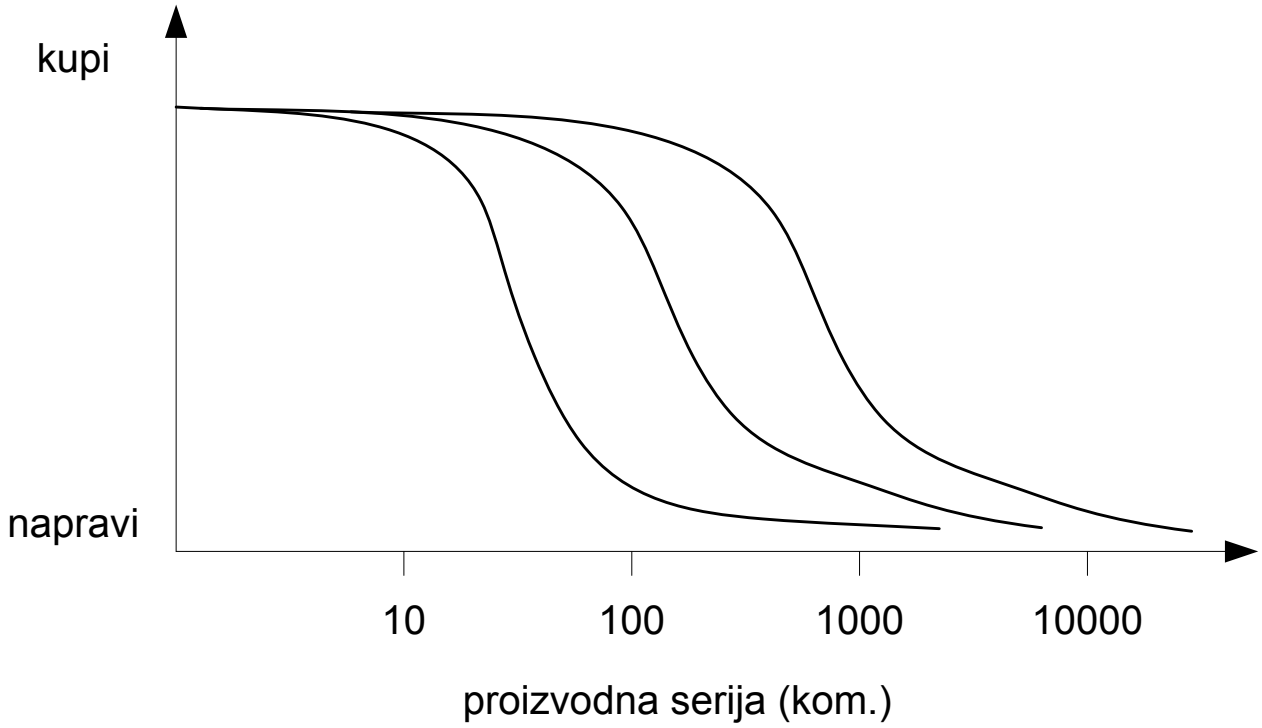

Koncept
Zahtjevi
(specifikacije)
Razvoj
Testiranje
Verifikacija
Instalacija
Održavanje i
podrška
Odlaganje

Razvoj uređaja

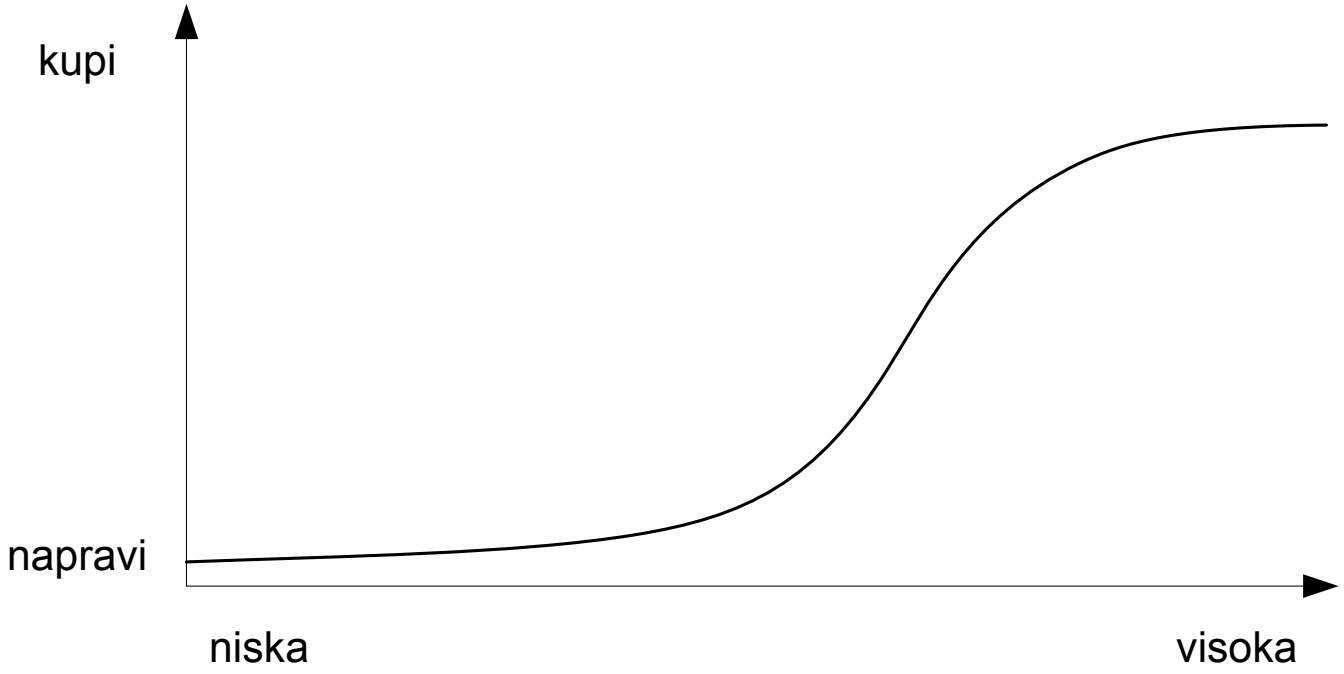
- odgovor na pitanje "*kako*":
  - na koji način riješiti pitanje *"što"* zadano specifikacijama
  - u kojem su međusobnom odnosu komponente unutar sustava?
- norme – smjernice procesa razvoja (npr. ISO 9000)
- interdisciplinarna suradnja i timski rad (*concurrent engineering)*
- metodologije razvoja uređaja:
  - *top-down* – razvoj vođen ulaznim zahtjevima i specifikacijama uređaja
  - *bottom-up* – sinteza rješenja iz postojeće baze rješenja i dostupne tehnologije (gotovih komponenti)
  - *outside-in* – sučelje sustava određuje razvoj *("interface-driven")*
  - *inside-out* – rješenje određeno odabranom tehnologijom *("technology-driven")*
  - *hybrid* – kombinacija ranije navedenih pristupa

Buy vs. build dilema

- kada razvoj nekog modula ili podsustava ima smisla?

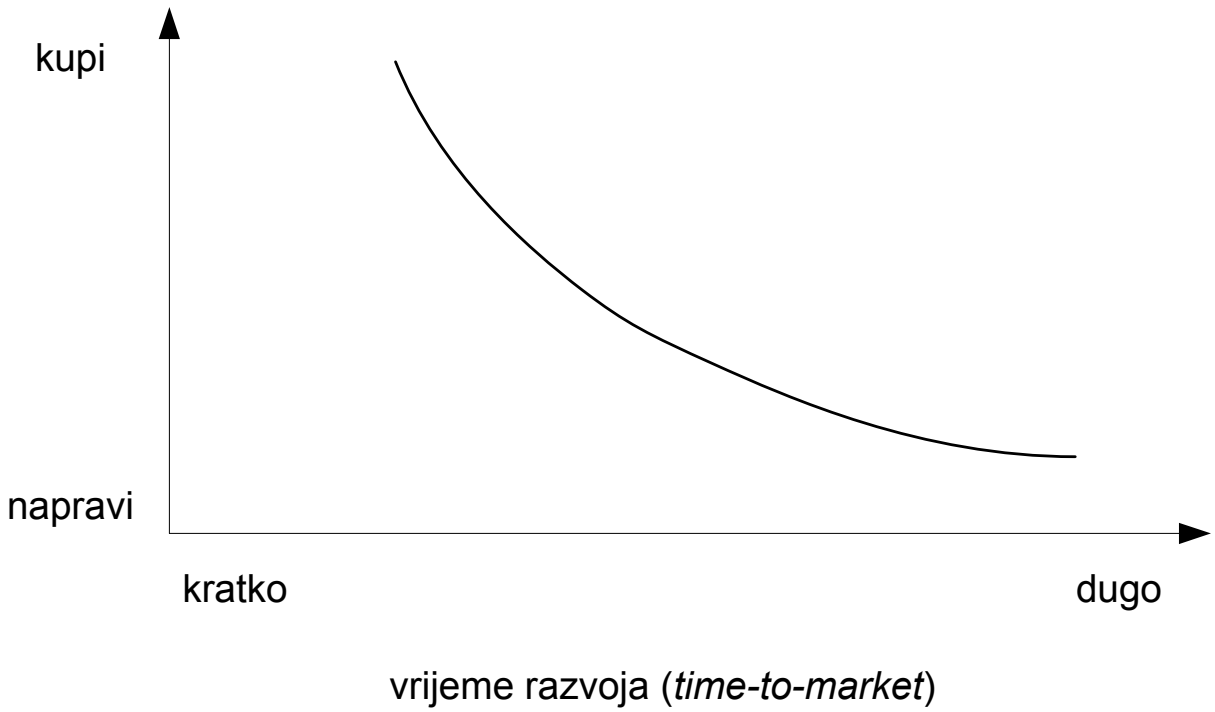


Buy vs. build dilema

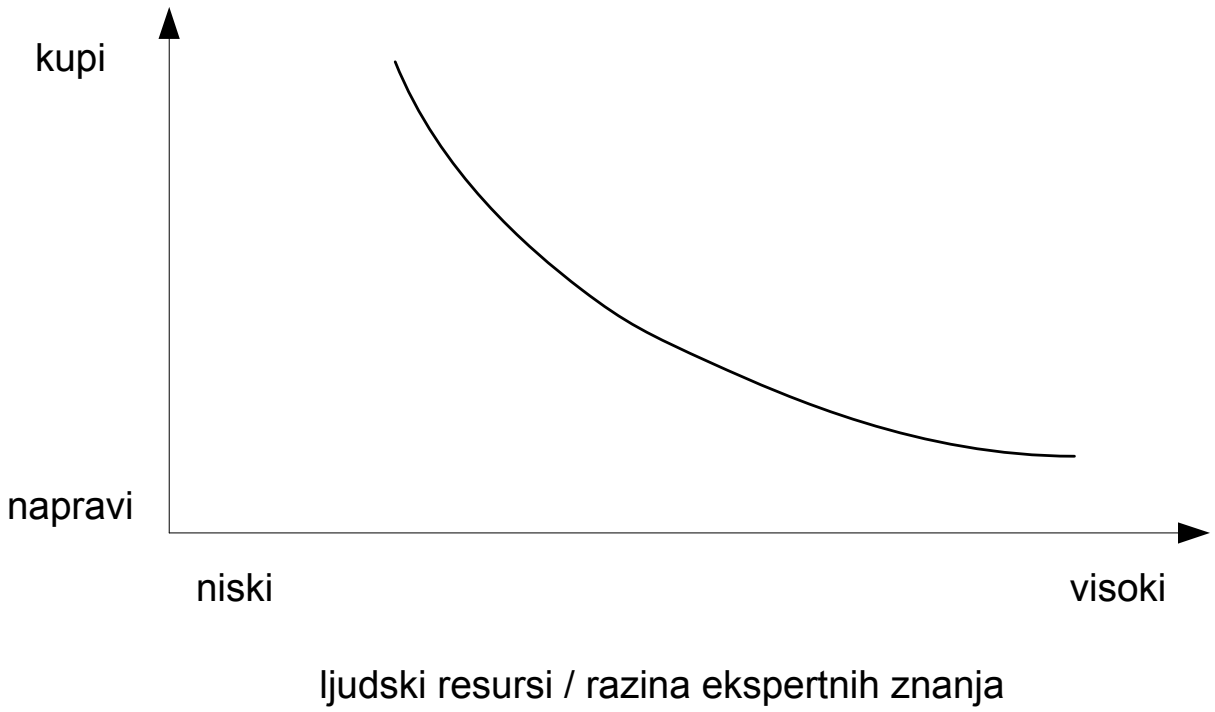


cijena komponenti/podsustava koji se ugrađuju

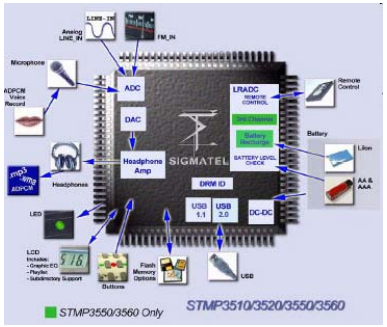
Buy vs. build dilema



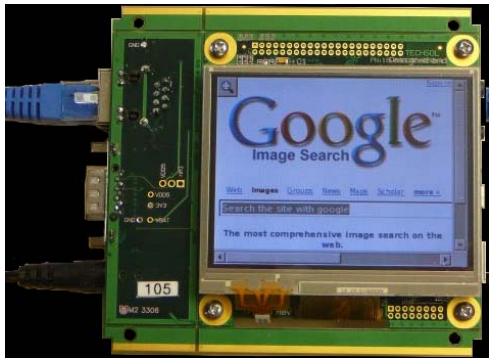
Buy vs. build dilema

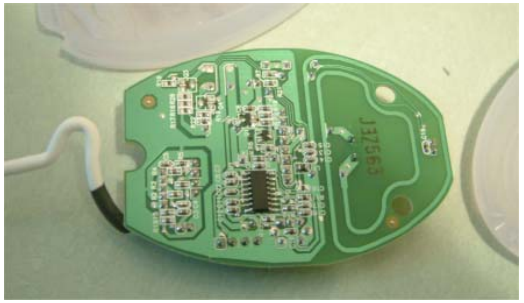


Buy vs. build dilema



?





Playstation 3

sales: **33.5 million** as of 31/12/2009

The *PlayStation 3*'s **initial production cost** (**2006**) is estimated to have been $805.85 for the 20 GB model and $840.35 for the 60 GB model. However, they were **priced at $499 and $599** respectively, meaning that **every unit was sold at an estimated loss of $250**...

Since the system's launch, production costs have been reduced significantly .... As of January 2008, each unit cost around $400 to manufacture; by **August 2009**, Sony had reduced costs by a total of 70%, meaning it **only costs Sony around $240 per unit**.

http://en.wikipedia.org/wiki/PlayStation_3

Troškovnik - primjer

- primjer: daljinski upravljač
- elektronički uređaj za široku potrošnju

Troškovnik - primjer

NRE	Qty.	Metric	Unit Cost USD	Total USD
Project management	100	hours	80.00	8,000.00
Specifications	50	hours	60.00	3,000.00
Feasibility	50	hours	60.00	3,000.00
HW/SW design and test	800	hours	60.00	48,000.00
Documentation	100	hours	60.00	6,000.00
Field test	200			
Manufacturing preparation	150	hours	60.00	21,000.00
Overhead	200	hours	60.00	12,000.00
				5,000.00
				106,000.00
		Quantity	50,000	2.12
		Quantity	100,000	1.06
		Quantity	200,000	0.53

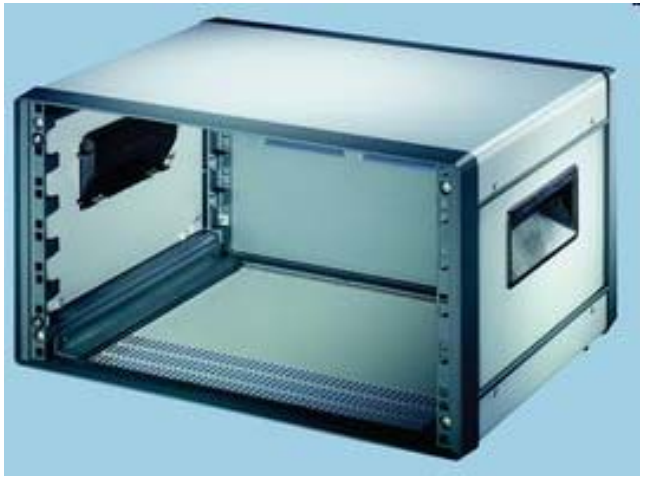
Troškovnik - primjer

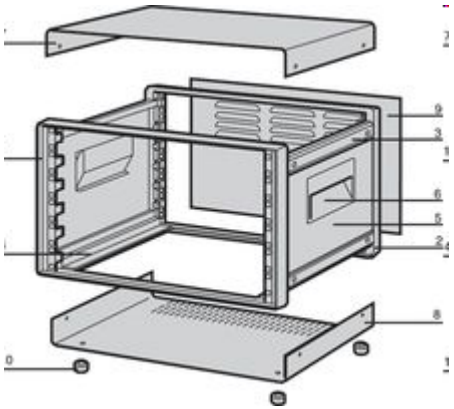
NRE	Qty.	Metric	Unit Cost USD	Total USD
NRE cost	1	NRE/unit	0.53	0.53
Electronic components	1	part	1.20	1.20
Enclosure injection molding	1	set	1.50	1.50
Button membrane molding	1	set	0.40	0.40
Battery clips	1	set	0.20	0.20
PCB fabrication	1	board	1.50	1.50
PCB assembly	1	board	2.67	2.67
Final Assembly and test	1	unit	0.13	0.13
		Cost (NRE + COGS) per unit		5.73
		Total (for 200,000 pcs.)		1,146,000.00

Razvoj uređaja

- mehaničko projektiranje
  - kućište!
  - raspoloživost prostora, veze između modula
  - montaža tiskanih pločica
- električko projektiranje
  - podjela sklopova na tiskane pločice
  - podjela analognog i digitalnog sklopovlja, NF i VF sklopovlja itd.
  - mogućnost testiranja
- komadna, niskoserijska, visokoserijska proizvodnja

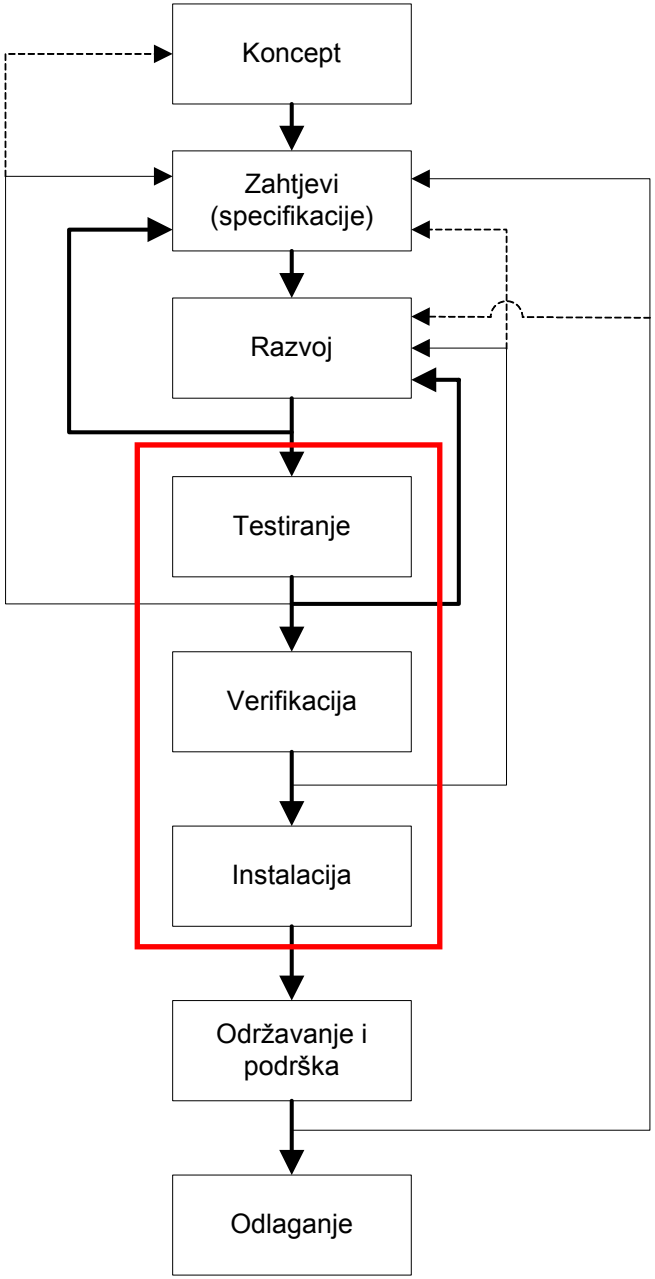
Kućište uređaja





Razvoj uređaja – prototip rješenja

- *rapid prototyping*
  - brza povratna veza u početnoj fazi razvoja uređaja
  - prototip djelomično implementira najbitnije mogućnosti konačnog proizvoda
  - preispitivanje i nadopunjavanje specifikacija (*validacija* predloženog rješenja)
  - cilj: donošenje ispravnih odluka o daljnjem smjeru razvoja već u ranoj fazi projekta
- *field testing*
  - u kasnijoj fazi razvoja, kada je prototip blizak konačnom rješenju
  - ispitivanje da li uređaj pruža potrebnu funkcionalnost u specificiranim radnim uvjetima
  - "*beta testing*"


Koncept
Zahtjevi
(specifikacije)
Razvoj
Testiranje
Verifikacija
Instalacija
Održavanje i
podrška
Odlaganje

Validacija, verifikacija i integracija

- formalno testiranje da li uređaj zadovoljava predviđenu namjenu
- validacija: u kolikoj su mjeri specifikacije usklađene s namjenom uređaja i ulaznim zahtjevima (kvalitativno)?
- verifikacija: u kojoj mjeri implementirano rješenje zadovoljava specifikacije (kvantitativno)?
- integracija:
  - postupak povezivanja komponenti i podsustava u cjelokupni, konačni sustav
  - testiranje (validacija i verifikacija) integriranog rješenja

Validacija - primjer

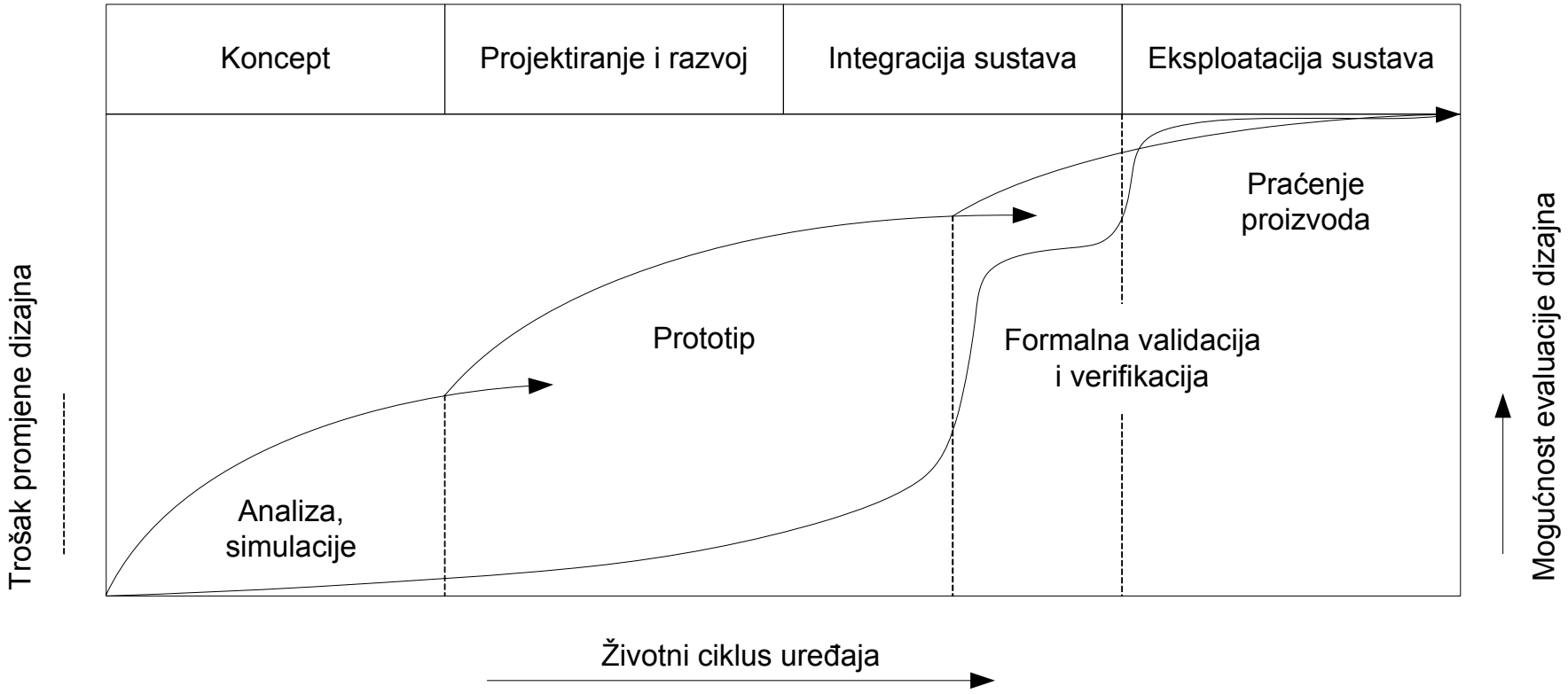
Test	Faza razvoja	Funkcija
Analiza sigurnosti uređaja	Rana i srednja faza projektiranja	Identificirati potencijalne probleme s gledišta sigurnosti korištenja uređaja
Stablo događaja (*event-tree analysis*)	Projektiranje, integracija, eksploatacija	Analiza događaja koji mogu nastati kao posljedica kvara ili neispravnog rada uređaja
Stablo pogrešaka (*fault-tree analysis*)	Projektiranje, integracija, eksploatacija	Dijagnostika neispravnosti uređaja na temelju uočenih posljedica (obrnut postupak od analize stabla događaja)
Oporavak od kvara i ispravljanje pogrešaka	Završna faza projektiranja, integracija	Analiza procedura oporavka uređaja od kvara ili procedura za ispravljanje pogrešaka, ako postoje
Utjecaj ljudskog faktora	Rana i srednja faza projektiranja	Identifikacija problema i rizika uslijed utjecaja ljudskog faktora
Analiza mogućih kvarova i kritičnih momenta u primjeni uređaja	Projektiranje, integracija, eksploatacija	Analiza utjecaja kvara pojedinih komponenata sustava i kritičnost svakog kvara u primjeni sustava

Verifikacija - primjer

Područje ispitivanja	**Specifičnosti ispitivanja**
Utjecaj radne okoline	Temperaturni opseg rada, vlaga, udarci, vibracije, korozija
Elektromagnetska kompatibilnost (EMC)	Razina generiranja elektromagnetskih smetnji (*conducted, radiated*) i osjetljivost na utjecaj vanjskih EM smetnji
Pouzdanost	Vijek trajanja uređaja, ubrzano ispitivanje (*burn-in*)
Održavanje	Učestalost i trajanje redovitog održavanja, oprema za testiranje i dijagnostiku kvara, procedure dijagnostike i popravka, osposobljavanje i edukacija servisera
Performanse i tehničke značajke uređaja	Mjerna nesigurnost, frekvencijski opseg, brzina rada, dimenzije, masa itd.
Programska podrška	Verifikacija funkcionalnosti, analiza iznimaka (tj. ponašanja u slučaju nepredviđenih okolnosti), ergonomija korisničkog sučelja

Ispitivanje i testiranje

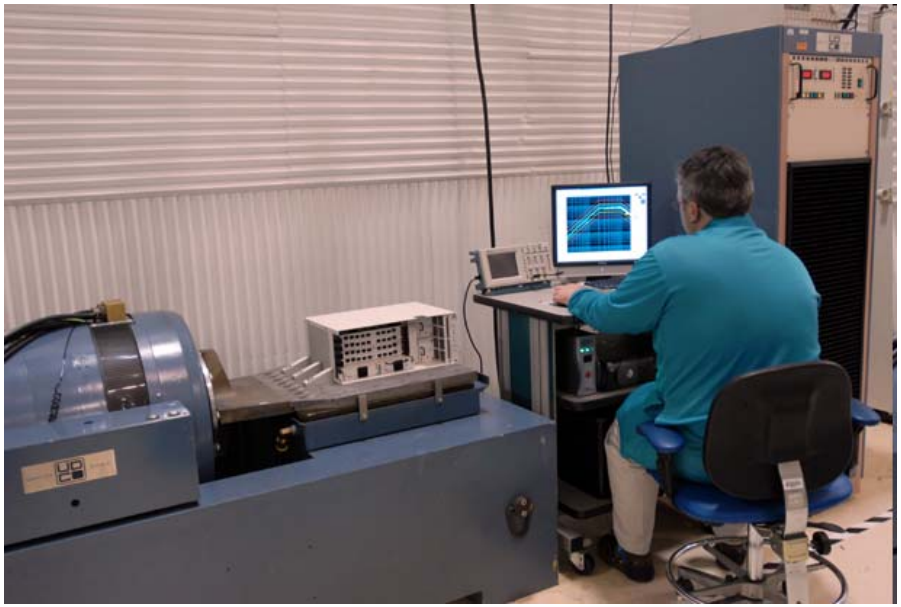
- minimizacija troškova razvoja: cijena promjene dizajna je to manja što se problem ranije uoči (povlačenje proizvoda!)
- troškovi promjene dizajna u različitim fazama projekta:



Ispitivanje i testiranje

Ispitivanje – provjera sukladnosti normama i kvantitativnim specifikacijama mjerenjem

Elektromagnetska kompatibilnost
(*electromagnetic compatiblity*, EMC)



Mehanička naprezanja (udarci, vibracije)
(*shock and vibration test*)

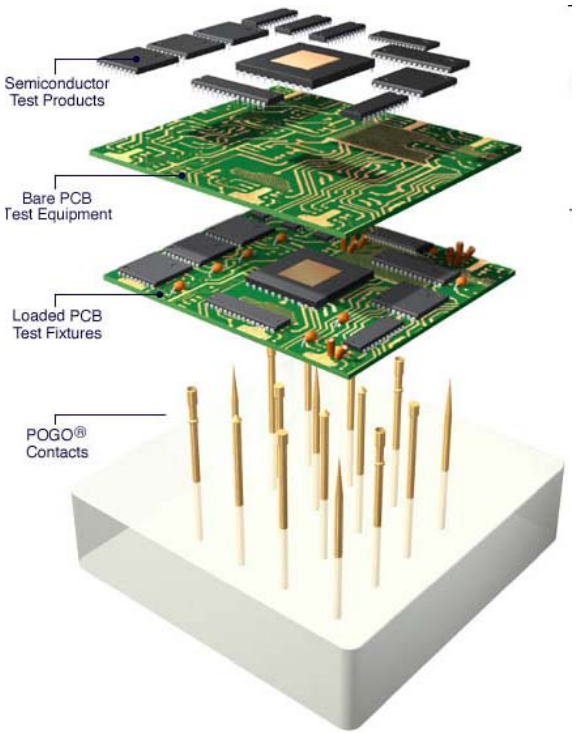
Ispitivanje i testiranje

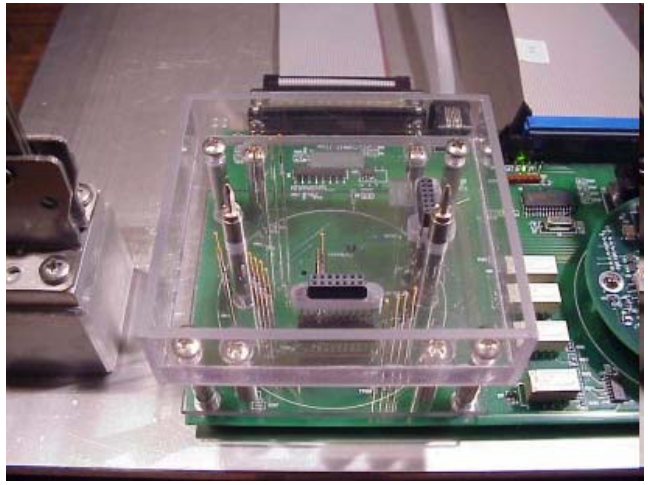
Temperatura i vlaga (klima-komora)
(*temperature and humidity chambers*)

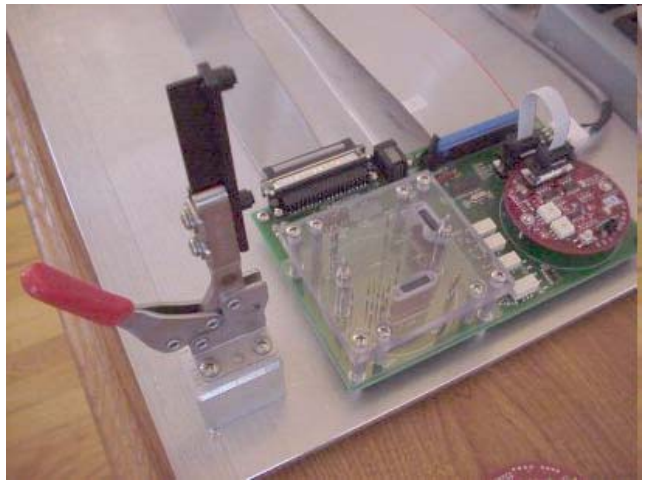
Termička naprezanja
(*temperature forcing systems*)

Ispitivanje i testiranje

Testiranje – dio proizvodnog procesa, (kontrola kvalitete) (provjera da li proizvedeni uređaj radi)

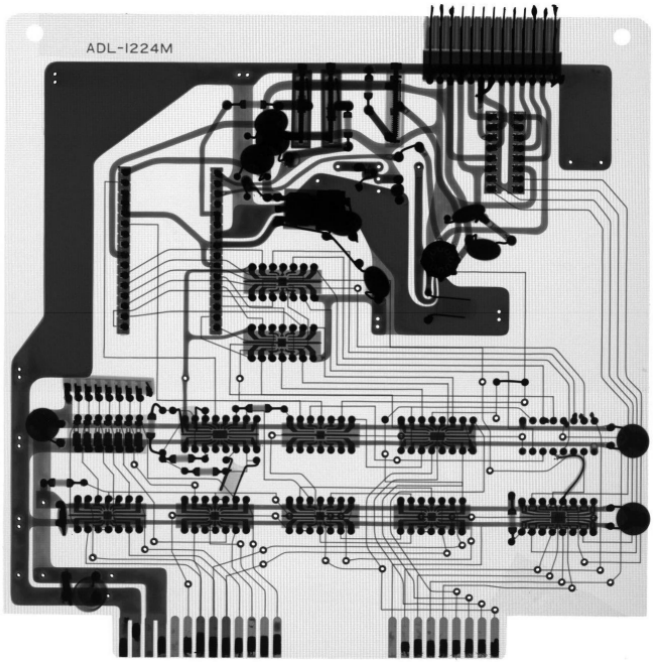


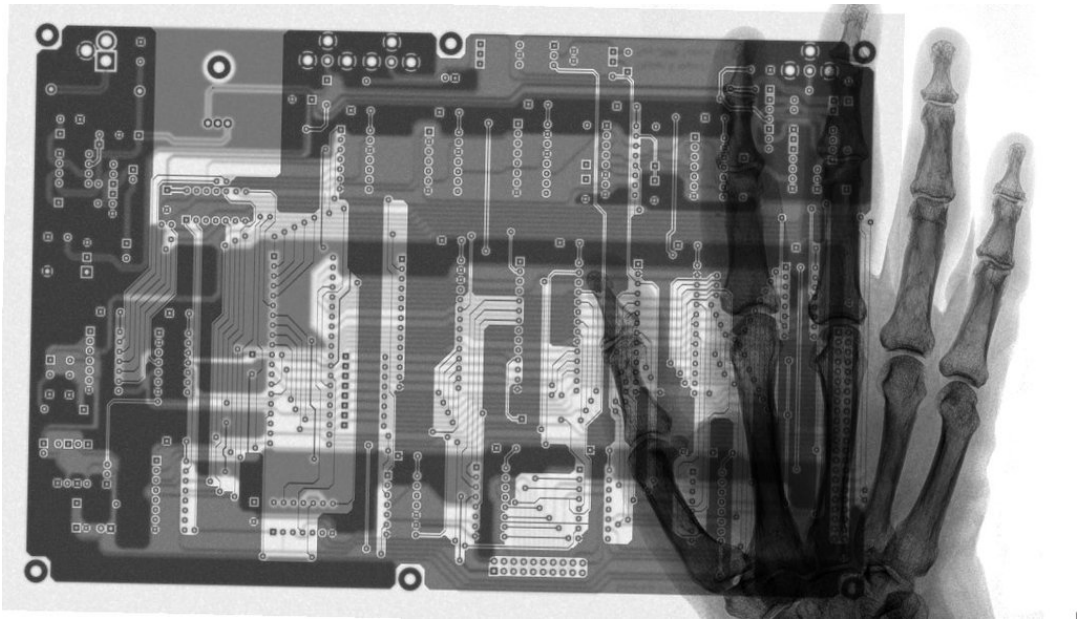


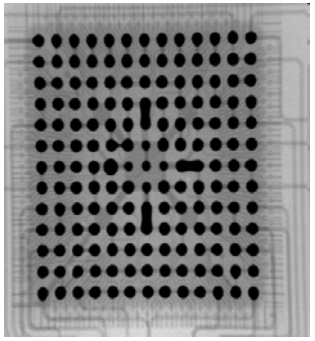


električno testiranje tiskanih pločica
izlazna kontrola kvalitete
(*PCB test fixtures*)

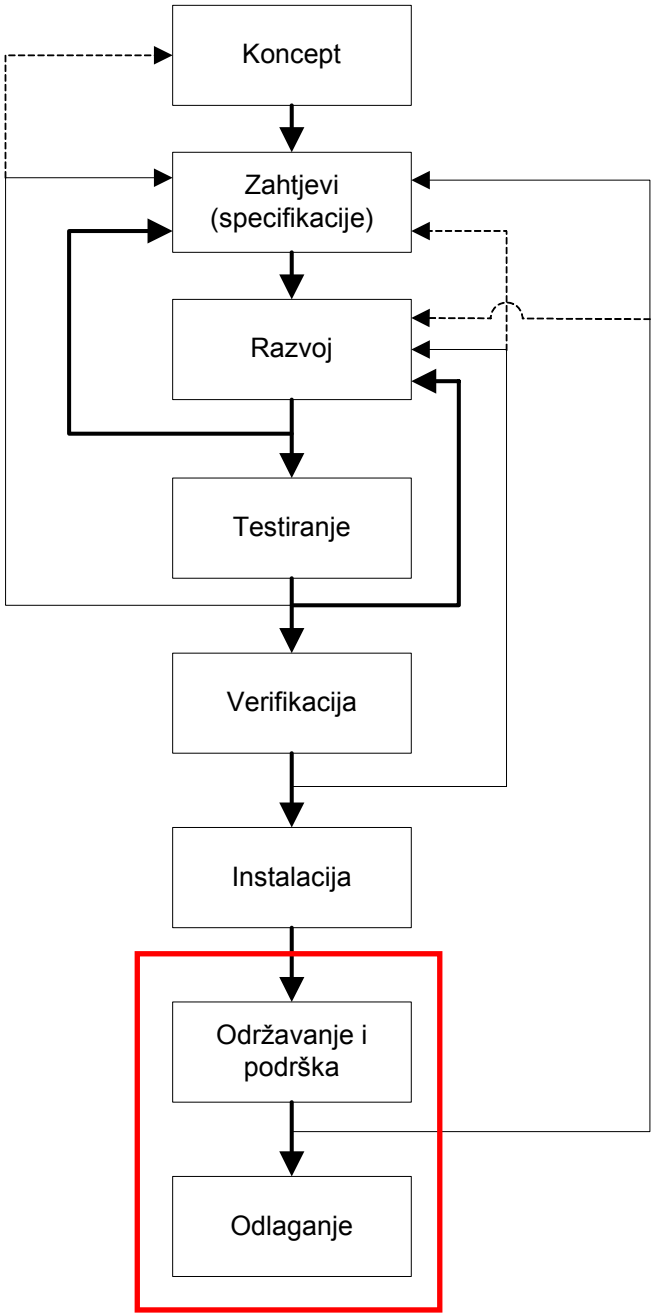
Ispitivanje i testiranje







rendgensko testiranje tiskanih pločica
(provjera vodljivih likova i lemnih mjesta)


Koncept
Zahtjevi
(specifikacije)
Razvoj
Testiranje
Verifikacija
Instalacija
Održavanje i
podrška
Odlaganje

Održavanje i ukupni troškovi životnog ciklusa uređaja

- problematici održavanja uređaja se u fazi razvoja često posvećuje nedovoljna pažnja – izvor skrivenih troškova
- troškovi održavanja - obuhvatiti u fazi planiranja projekta
- održavanje:
  - preventivno (redovito održavanje)
  - neplanirano (popravci)
  - obaveze popravka u jamstvenom roku i izvan njega
- pristupi održavanju uređaja:
  - sustavi s redundantnom arhitekturom (zamjenska jedinica uključuje se u slučaju kvara)
  - zamjena modula u kvaru
  - zamjena komponente u modulu koja je u kvaru
  - odlaganje uređaja bez popravka i nabavka novog

Održavanje i ukupni troškovi životnog ciklusa uređaja

- dijagnostika:
  - automatska (*built-in test,* BIT) ili ručna (potrebna posebna vanjska oprema)
  - različite razine dijagnostike
  - osposobljenost osoblja za održavanje
  - dijagnostička oprema
- dokumentacija:
  - korisnička
  - servisna
  - administriranje i vođenje zapisa o održavanju proizvoda

Ukupni troškovi životnog ciklusa uređaja - primjer

Kategorija	**Primjeri stavki troškova**
Troškovi do isporuke *(non-recurring costs, NRC)*	Amortizacija troškova razvoja, materijal i utrošeni rad
Eksploatacija uređaja	Osoblje, potrošnja energije
Potrošni dijelovi i resursi	Baterije, gorivo, maziva, mehanički dijelovi, papir (npr. za pisače) i sl.
Edukacija	Korisnici, osoblje za održavanje
Održavanje i popravci	Utrošeni rad, rezervni dijelovi, zalihe, troškovi za korisnika zbog neraspoloživosti uređaja
Nadogradnje	Sklopovlje, programska podrška, razrada novih mogućnosti i povećanje složenosti uređaja

Odlaganje

Povlačenje proizvoda s tržišta

izvor: http://www.cpsc.gov/cgi-bin/prod.aspx (US Consumer Product Safety Commission)

Product	Quantity	Hazard
Model 602 Gerry Deluxe Baby Monitors	990,000	Wires inside the monitor may be improperly connected, resulting in the product overheating with the possibility of the monitor causing fire.
Certain AC Adaptors sold with slim version PlayStation® 2 Systems	843,000	The recalled AC adaptors can overheat and melt. This poses the risk of fire, burn and shock injuries to consumers.
Lexmark, Dell and IBM Laser Printers	39,431	These printers can short-circuit, posing an electrical shock hazard to consumers.
Durabrand DVD Players	4.2 million	The DVD player's circuit board can overheat, posing a fire and burn hazard to consumers.
Samsung Over-the-Range Microwave Ovens	43,000	If an installation bolt comes in contact with an electrical component inside the unit and the microwave is plugged into an ungrounded outlet, it could create a shock hazard.

Neuspjeh, iteriranje i inženjersko prosuđivanje

"*Nearly all engineering failures result from faulty judgements rather than faulty calculations*"

- razvojni inženjer zapravo najviše može naučiti iz vlastitih pogrešaka i neuspjeha, kako bi u budućnosti mogao donositi kvalitetnije *prosudbe* u razvojnom procesu

"*No one wants to learn by mistakes, but we cannot learn enough from successes to go beyond the state of the art*"

(iz K.R. Fowler, "Electronic instrument design")

Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

2. Tehnologija tiskanih pločica

M. Cifrek, H. Džapo

ak.god. 2011/2012

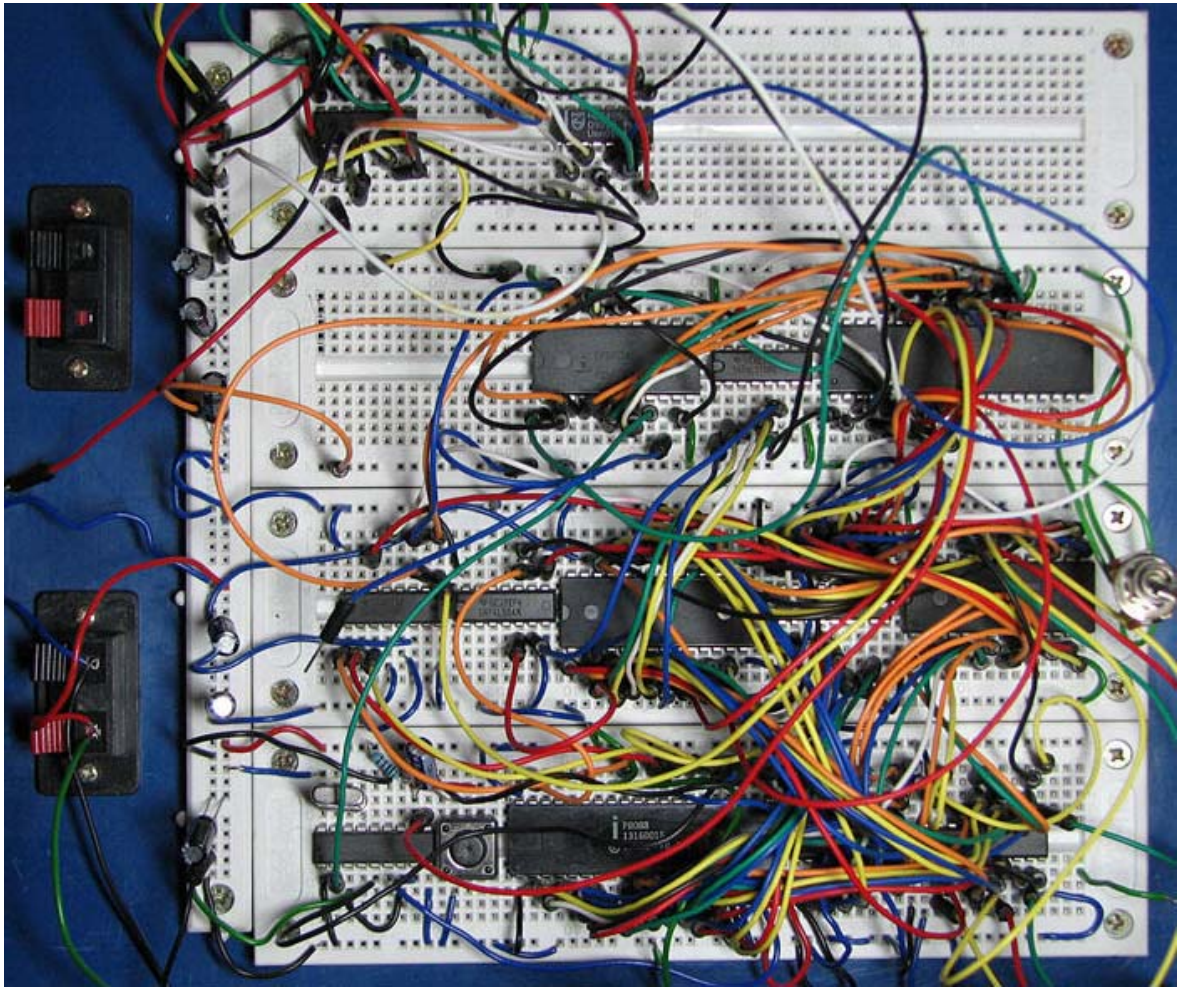
Računalom podržano projektiranje elektroničkih uređaja

Tiskane pločice

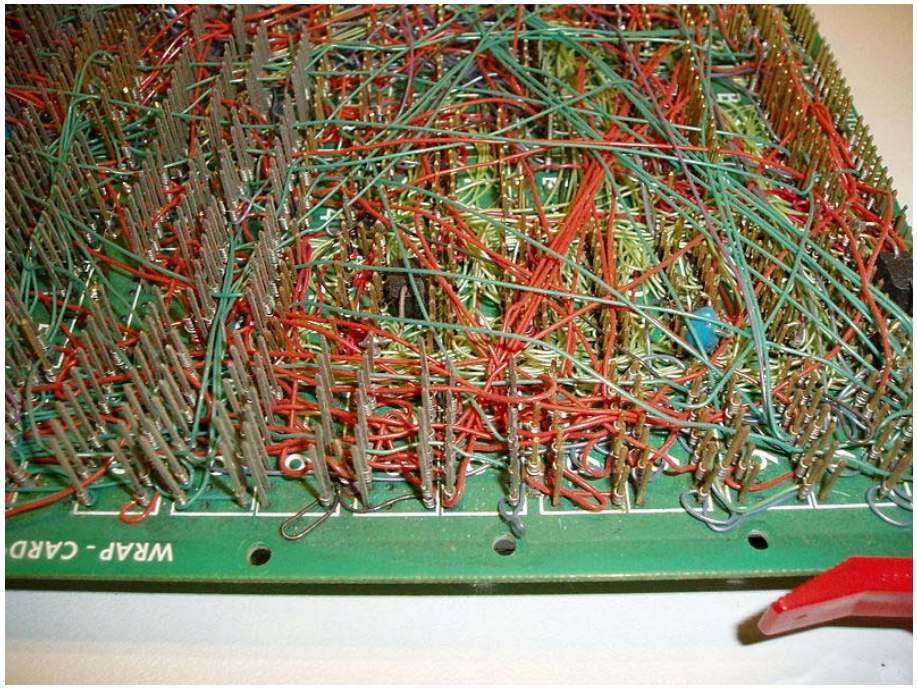
- električko i mehaničko povezivanje komponenti elektroničkih sklopova i uređaja

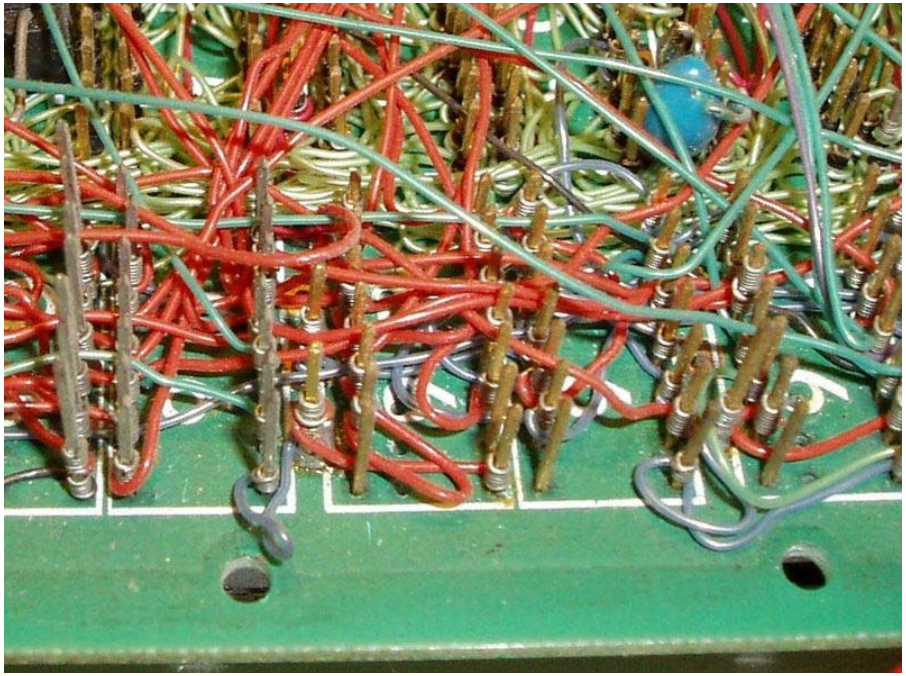
- tehnološke mogućnosti povezivanja komponenti elektroničkih sklopova:
  - probne utične pločice (*protoboard, breadboard*)
  - omčasto povezivanje (*wire-wrapping*)
  - varenje (*stitch weld*)
  - tiskane pločice (*printed circuit boards*)
  - MCM (*multi chip module*)

Probna utična pločica (*protoboard*)

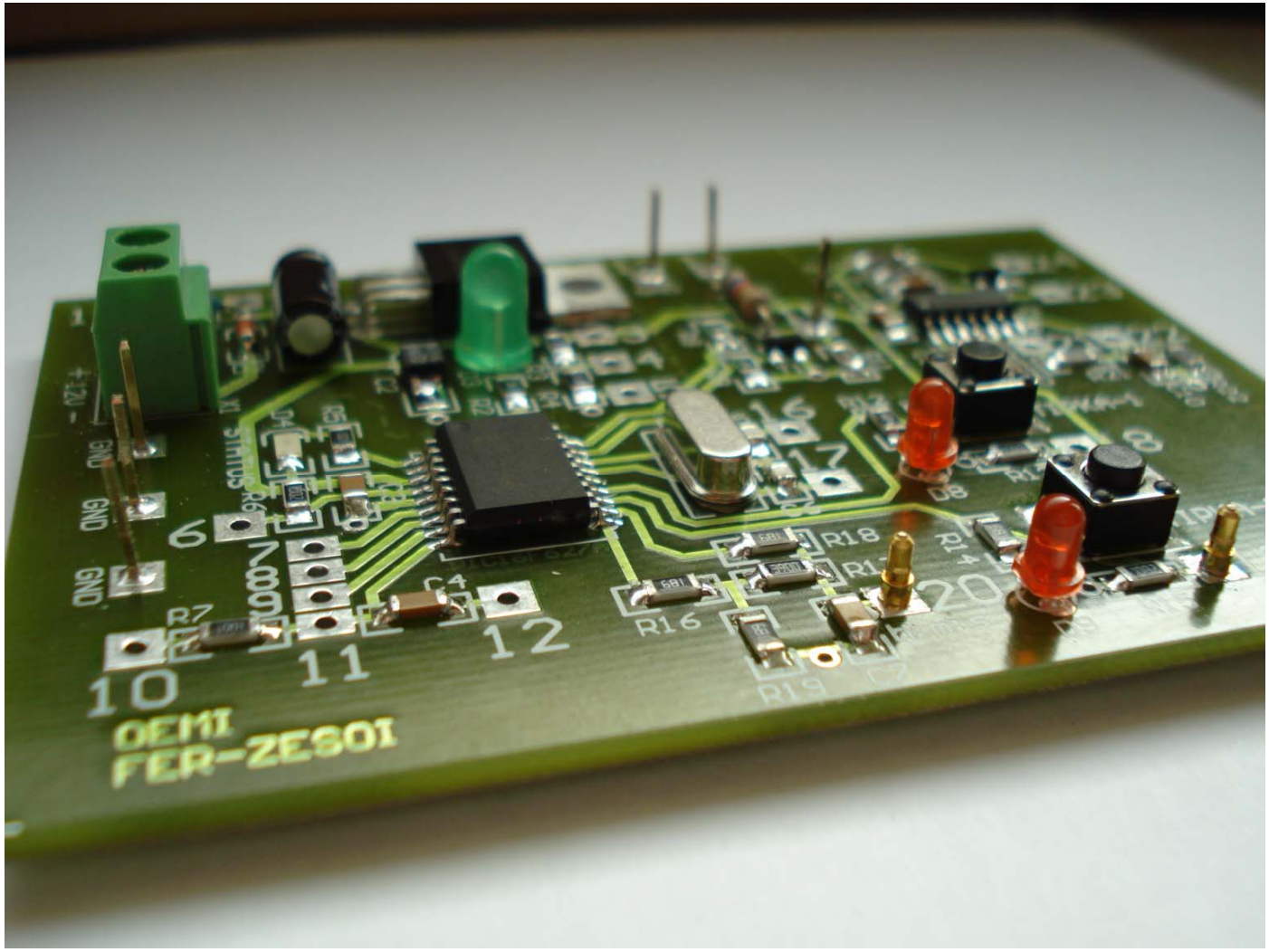


Omčasto povezivanje (*wire wrapping*)

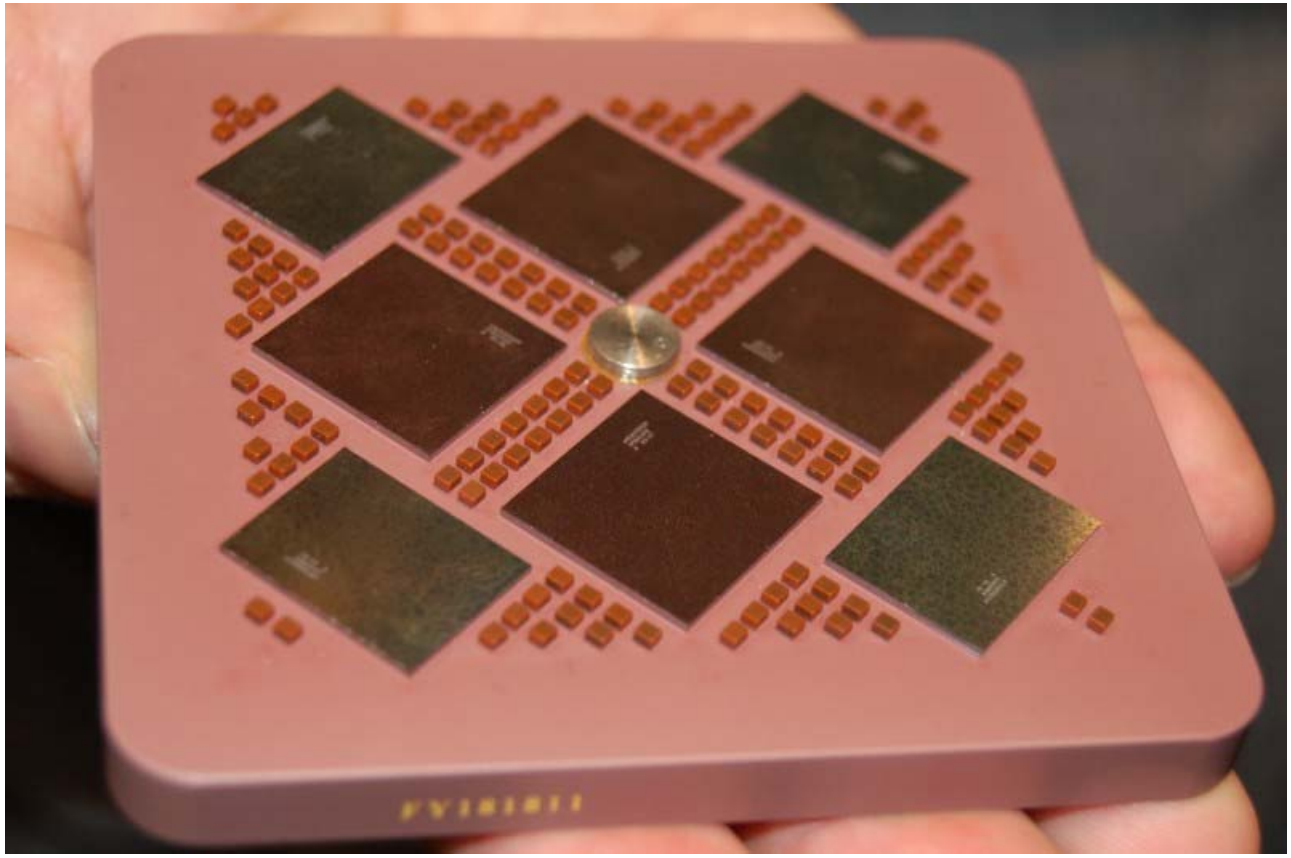




Tiskana pločica (PCB)



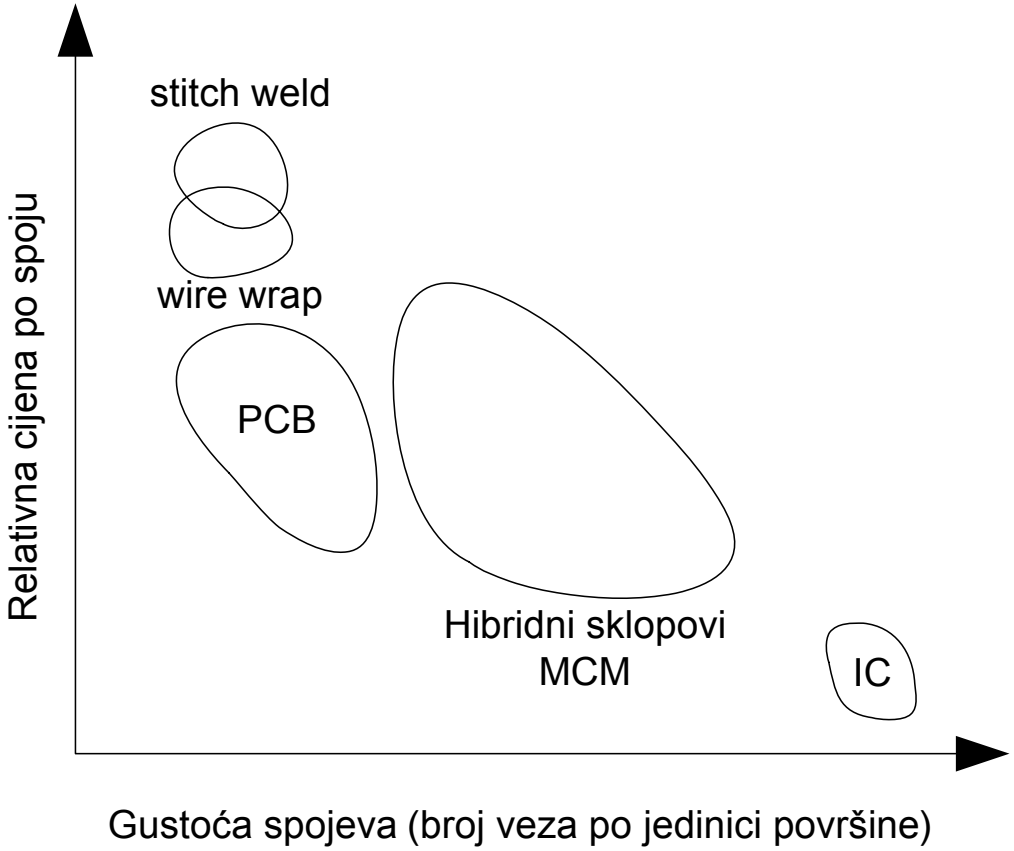
Multi chip module (MCM)



Prednosti i nedostaci različitih tehnika povezivanja komponenti

Tehnologija	**Značajke**
Protoboard	jednostavno povezivanje komponenti; ograničena složenost sklopovlja i frekvencijski raspon, pogodno za realizaciju jednostavnijih prototipa
Wire-wrap	jednostavno povezivanje komponenti; veća složenost sklopovlja od protoboarda; frekvencijski raspon do oko 5-10 MHz; nepogodno za serijsku proizvodnju
Stitch weld	slično kao i wire wrap, ali se spojevi ostvaruju varenjem; odlična otpornost na udarce i vibracije, frekvencijski raspon do oko 100 MHz; skupa proizvodnja
PCB	optimalni izbor za nisko i visokoserijsku proizvodnju svih vrsta elektroničkih uređaja
MCM	postavljanje više silicijskih pločica (čipova) izravno na podlogu (*chip bonding*); visoka gustoća komponenata i velike brzine rada; rjeđe se koristi od PCB u serijskoj proizvodnju zbog cijene

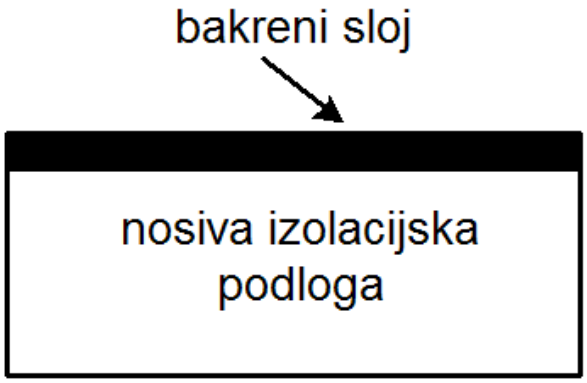
Usporedba različitih tehnika povezivanja komponenti



Tiskana pločica

- optimalno rješenje za fizičko povezivanje komponenti u proizvodnji elektroničkih uređaja u najvećem broju primjena

- građa tiskane pločice
  - nosiva izolacijska podloga
  - vodljivi sloj(evi)



Građa tiskane pločice – nosiva izolacijska podloga

- slojevita struktura – laminat
- temeljni materijal + punilo (npr. epoksidne ili fenolne smole)
- vrste temeljnih materijala za podloge:
  - staklena vlakna: vitroplast, **FR-4** i FR-5 (FR – *flame resistant*)
  - papir: pertinaks, FR-2 i FR-3
- prednosti materijala temeljenih na staklenim vlaknima:
  - bolja dielektrična, kemijska, mehanička i temperaturna svojstva
  - nedostatak: cijena
- normirane debljine izolacijske podloge tiskanih pločica:

0,8 mm	**1,6 mm**	2,4 mm

Građa tiskane pločice – vodljivi sloj

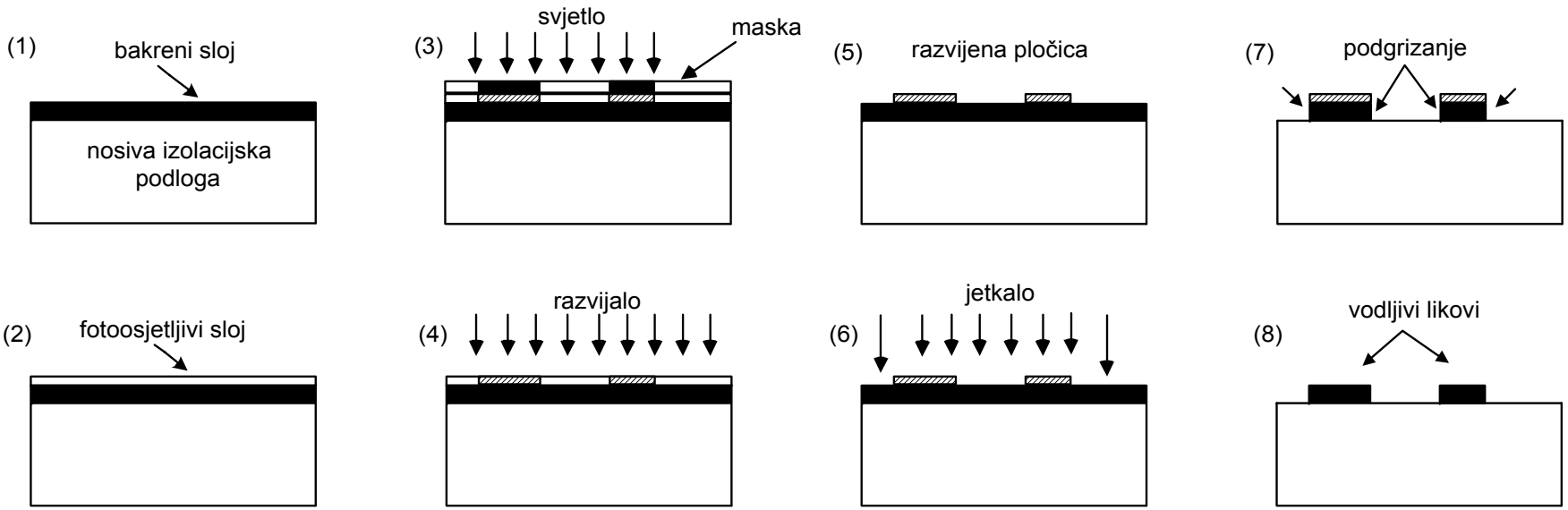
- tanka bakrena folija, lijepljenjem pričvršćena na nosivu izolacijsku podlogu pločice
- normirane debljine bakrenog sloja tiskanih pločica:

17,5 μm	**35 μm**	70 μm

- tiskanje vodova - izrada vodljivih likova u vodljivom sloju na površini pločice
- tipovi postupaka realizacije vodljivih likova:
  - subtraktivni, aditivni, mješoviti
- tehnologije nanošenja predložaka za izradu vodljivih likova:
  - fotopostupak, sitotisak, tiskarske metode, izrezivanje likova mehaničkim alatima

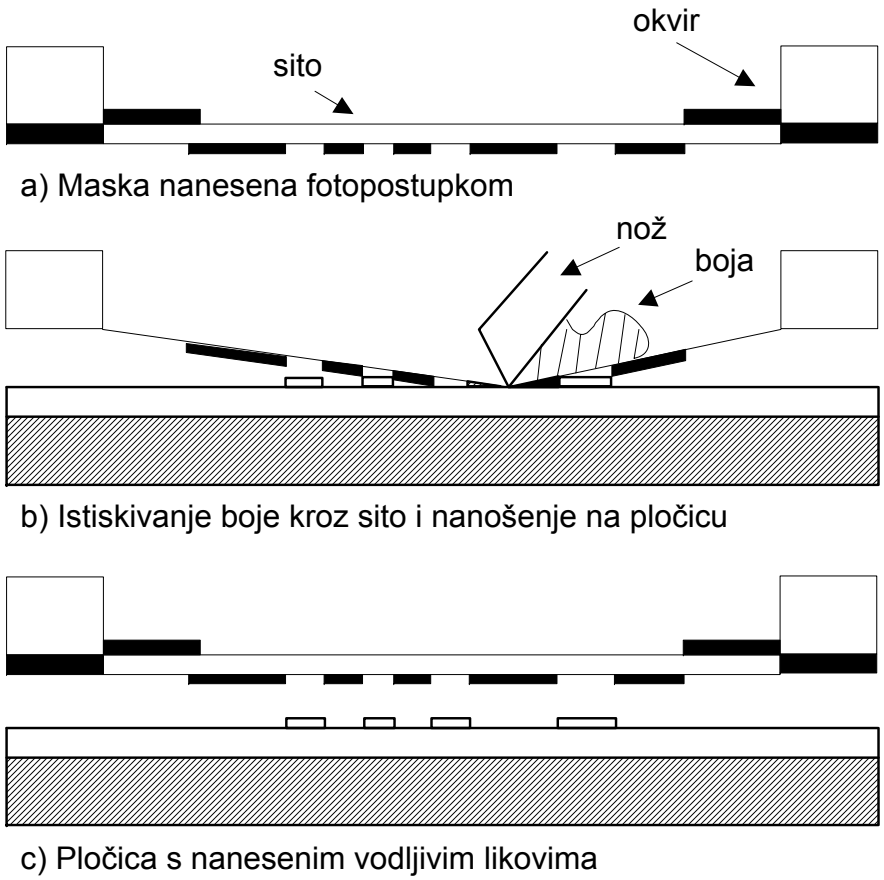
Fotopostupak

- primjer postupka za jednoslojne tiskane pločice:



- fotopostupak omogućuje preciznu izradu vrlo uskih, gusto raspoređenih likova

Tehnika sitotiska



- jeftiniji od fotopostupka (za serijsku proizvodnju), ali manje precizan

Ostale metode nanošenja predložaka vodljivih likova

- tiskarske metode
  - litotisak
  - litoofset tisak
  - koriste se u visokoserijskoj proizvodnji
- mehaničke metode
  - prešanje i isjecanje bakrenih likova
  - samo kod vrlo velikih serija, kada nije potrebno postići visoku preciznost vodljivih likova

Tipovi tiskanih pločica

- podjela tiskanih pločica prema broju vodljivih slojeva:
  - jednostrane tiskane pločice
  - dvostrane tiskane pločice
  - višeslojne tiskane pločice
- odabir broja vodljivih slojeva ovisi o:
  - složenosti sklopovlja
  - proizvodnoj cijeni
  - posebnim zahtjevima (npr. EMC, mogućnost kontroliranja karakteristične impedancije vodova, visokofrekvencijska svojstva itd.)

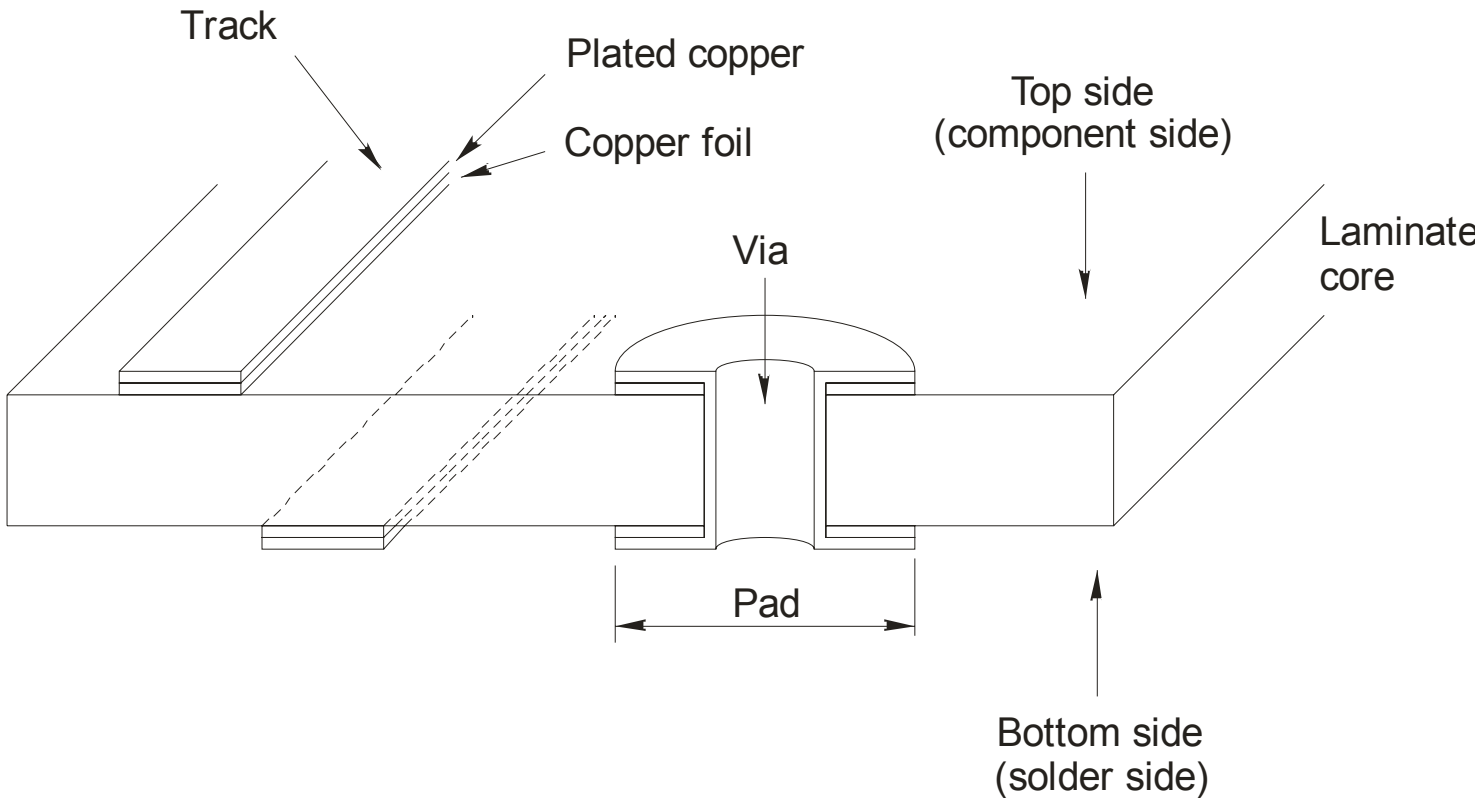
Jednostrane tiskane pločice

- komponente na jednoj strani pločice, a vodljive veze na drugoj
- komponentna strana (*top side*) – na njoj se nalaze elektroničke komponente
- lemna strana (*bottom side*) – na njoj se realiziraju tiskane veze
- prednosti: niska proizvodna cijena (dovoljan samo postupak nagrizanja bakra (*etching*), ne treba raditi metalizaciju prospojnih rupa (*plating*))
- nedostaci: niža gustoća komponenti, lošija visokofrekvencijska svojstva

Dvostrane tiskane pločice

- vodljive veze nalaze se s obje strane tiskane pločice
- komponente: najčešće s jedne strane (mogu se postavljati na obje strane tiskane pločice)
- prednosti: veća gustoća pakiranja komponenti, bolja visokofrekvencijska svojstva, lakše povezivanje komponenti
- nedostaci: cijena (u odnosu na jednostrane), slabija električka svojstva i mogućnosti realizacije vrlo složenih sklopova (u odnosu na višeslojne)

Dvostrane tiskane pločice

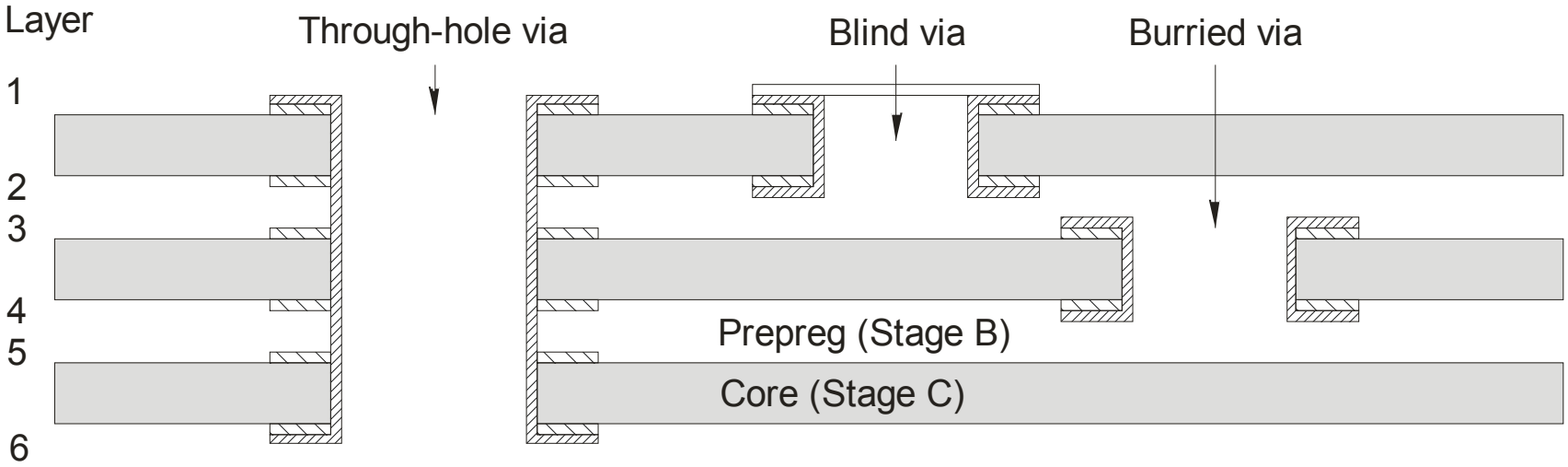


Višeslojne tiskane pločice

- osim površinskih vodljivih slojeva, postoje i slojevi u unutrašnjosti podloge
- današnja tehnologija: do 70 vodljivih slojeva
- međutim, u praksi se zbog proizvodnih troškova najčešće koristi 4 - 8 slojeva, kada je god moguće
- prednosti: vrlo visoka gustoća pakiranja komponenti, odlična visokofrekvencijska svojstva, mogućnost kontroliranja impedancije vodova, najbolje rješenje za EMC
- nedostaci: proizvodna cijena!

Višeslojne tiskane pločice

- primjer: presjek šesteroslojne tiskane pločice:

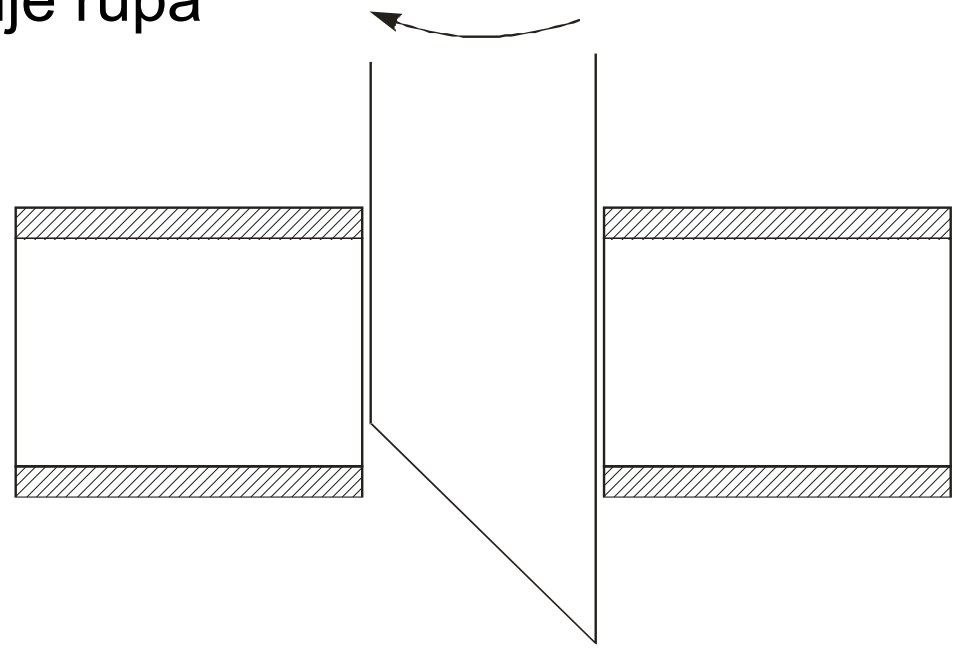


Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

- tehnologija izrade tiskanih pločica mora omogućiti ostvarivanje:
  - vodljivih likova u bakrenom sloju
  - ostvarivanje prospojnih rupa s vodljivim bočnim stijenkama:
    - lemne rupe (*plated through hole*)
    - prospoji između vodljivih slojeva (*via*)
  - zaštitu vodljivih likova (poglavito od korozije)
- elementi vodljivih likova:
  - vodljive veze (*track*)
  - lemne točke (*pad*)

Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

(1) Bušenje rupa



- računalom upravljana bušilica (*N.C. drill*)
- promjer svrdla: 70 – 100 μm veći od konačne rupe
- 3 – 5 pločica istovremeno
- svrdla s visokom brzinom vrtnje

Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

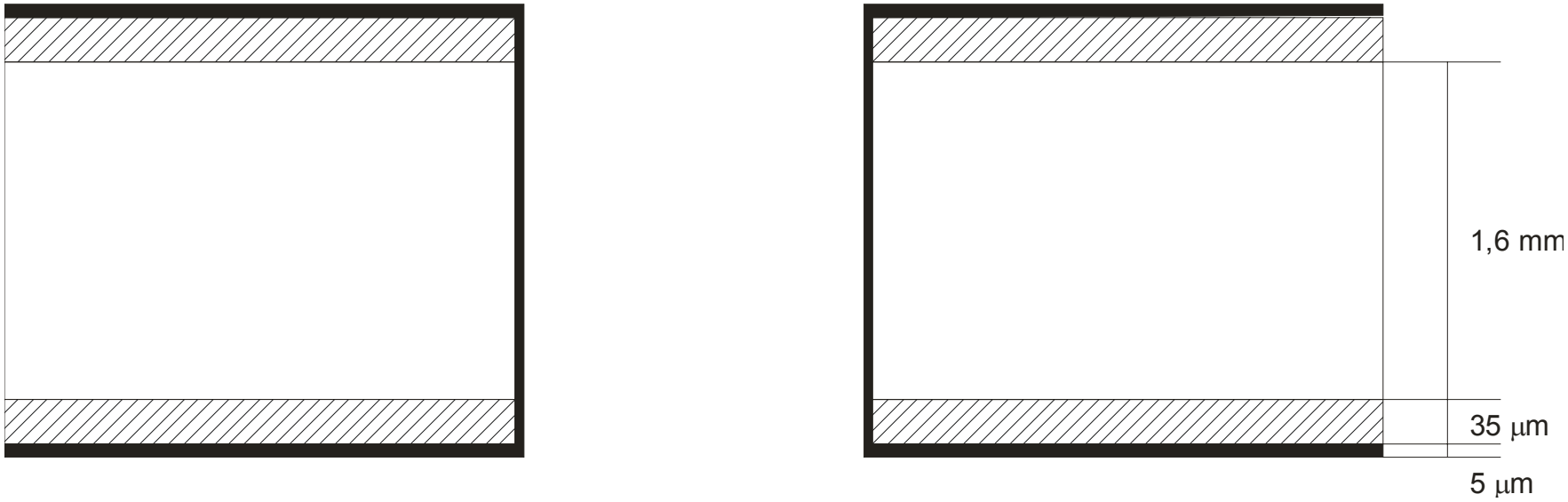
(2) Kemijsko bakrenje

- po cijeloj površini pločice, redukcijski postupak
- debljina bakrenog sloja: 0,5 μm
- elektrolitičko nanošenje bakra još uvijek nije moguće (bočne stranice rupa još uvijek nisu vodljive)

(3) Elektrokemijsko bakrenje I

- elektrolitički postupak:
  - anoda: 99,5 %-tni čisti bakar
  - katoda: tiskana pločica
  - elektrolit: H_2SO_4 ili Cu_2SO_4
- debljina dodatnog bakrenog sloja: 5 μm

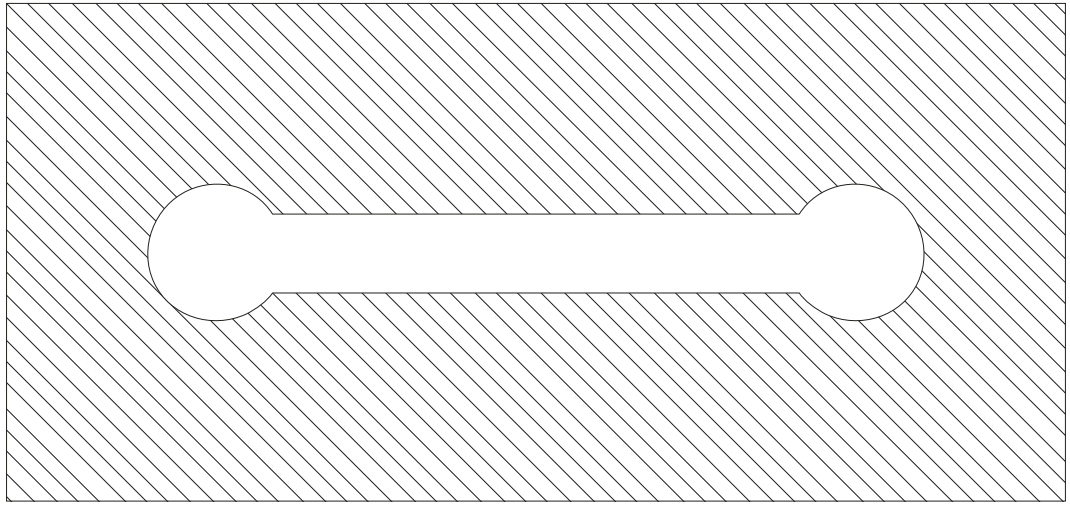
Presjek tiskane pločice nakon elektrokemijskog bakrenja I



Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

(4) Fotopostupak

- fotoosjetljivi sloj - suhi film
- strojno lijepljenje pod povišenim tlakom i tempraturom
- nakon razvijanja ostaje negativ maske vodljivih likova



Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

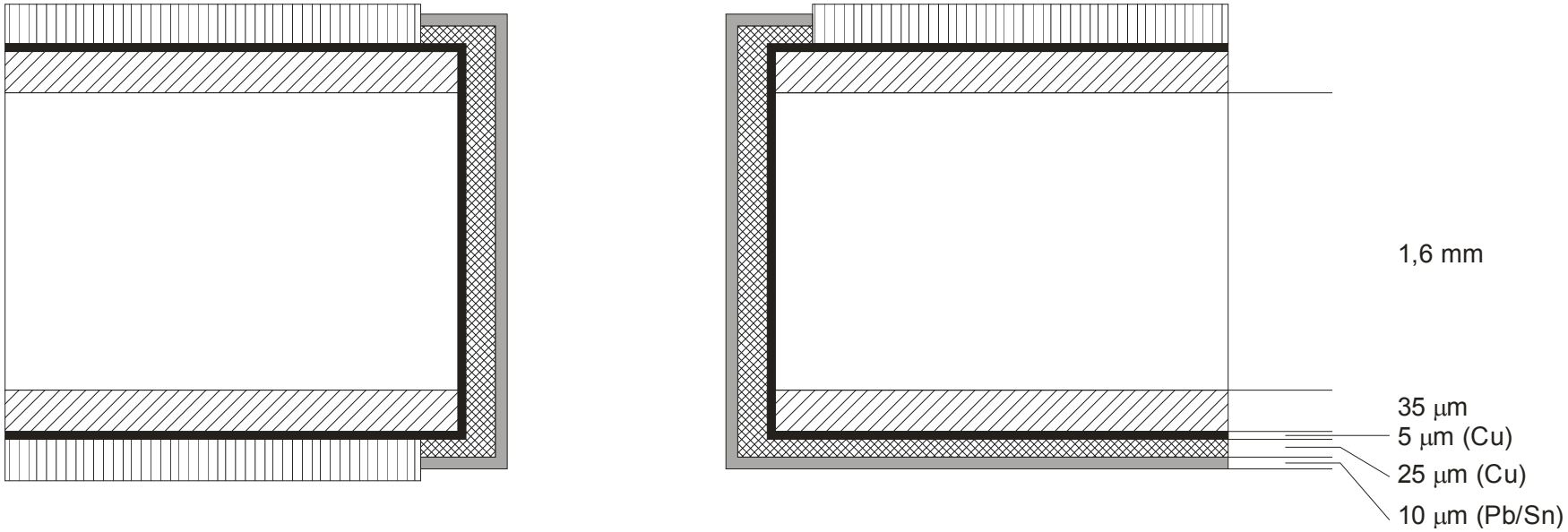
(5) Elektrokemijsko bakrenje II

- selektivni rast bakrenog sloja elektrolitičkim postupkom
- ~ 25 μm

(6) Elektrokemijsko kositrenje

- nanošenje slitine kositar-olovo: Sn : Pb = 60 : 40
- debljina sloja: ~10 μm
- ujedno i pozitiv-maska za jetkanje suvišnog bakra u kasnijem postupku

Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

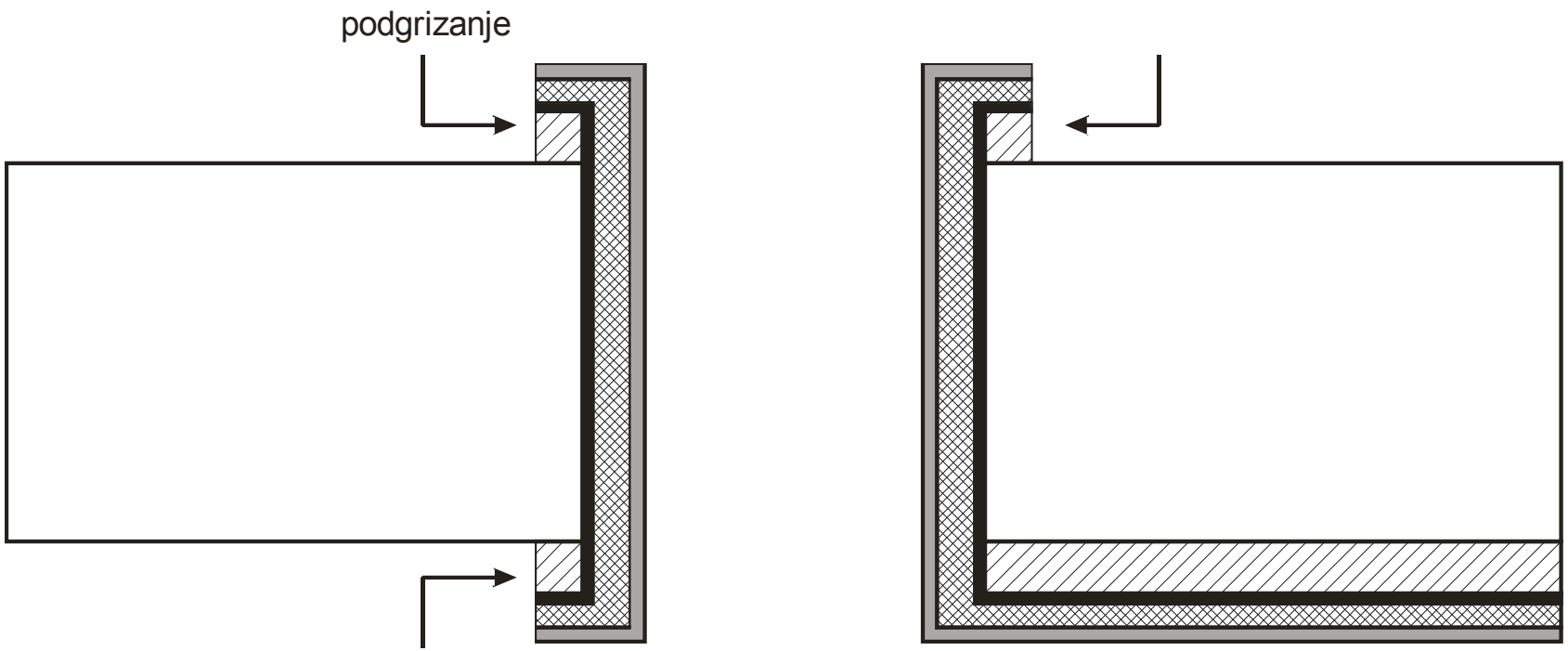


Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

(7) Jetkanje

- uklanjanje filma za fotopostupak (Sn/Pb je već nanešen kao pozitiv-maska za jetkanje bakra)
- $FeCl_2$, $CuCl_2$, amonij-persulfat, kromsumporna kiselina
- nagrizanje viška bakra – ostaju obrisi željenih vodljivih likova

Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice



Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

(8) Uklanjanje kositra

- sloj Sn/Pb nanešen elektrolitičkim postupkom ima nejednolika površinska svojstva zbog načina nanošenja
- djelomično oštećen postupku jetkanja

(9) Vruće kositrenje

- na očišćeni bakar nanosi se 10 μm debeli zaštitni sloj Sn/Pb provlačenjem kroz rastaljenu Sn/Pb slitinu, uz vruću zračnu struju
- HAL (*hot-air leveling*) kupke
- jednolika površinska svojstva Sn/Pb i izbjegavanje zapunjavanja spojnih rupa
- uloga sloja: zaštita bakrenog sloja (poglavito od korozije i oksidacije)

Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

(10*) Elektrokemijsko pozlaćivanje

- dodatni postupak – za dijelove nezaštićenih vodljivih likova izloženih repetitivnim mehaničkim naprezanjima (npr. utične jedinice, konektori, rubni (*edge*) konektori (npr. PCI kartica) i sl.)
- poboljšanje mehaničke tvrdoće i kemijske otpornosti
- na vodljivi lik najprije se nanosi podloga od nikla (5 –10 μm) elektrolitičkim postupkom
- nakon toga 1 – 4 μm sloja zlata (s 1% primjesa Co, Ni i Ro)

Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

(11*) Sitotisak I

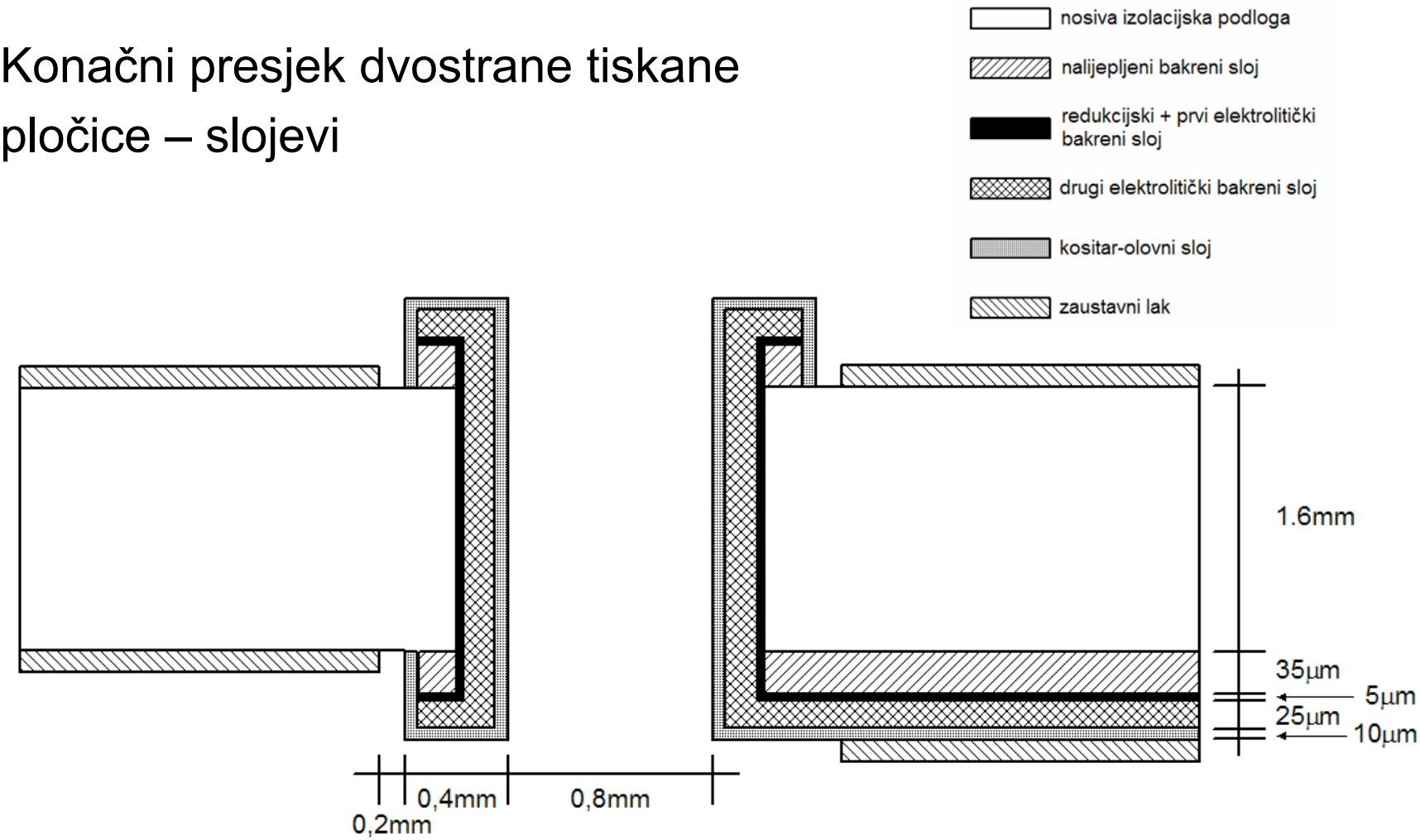
- nanošenje zaštitnog sloja preko cijele površine tiskane pločice, osim na dijelovima vodljivih likova predviđenima za lemljenje izvoda komponenti (lemne točke – *pads*)
- *zaustavni lak* (engl. *solder mask*)
- uloga:
  - zaštita vodljivih likova
  - olakšavanje postupka strojnog lemljenja

(12*) Sitotisak II

- nanošenje oznaka komponenti na zaustavni lak
- engl. *silkscreen layer* ili *overlay* (*top* ili *bottom*, ovisno o strani pločice na koju se nanosi)

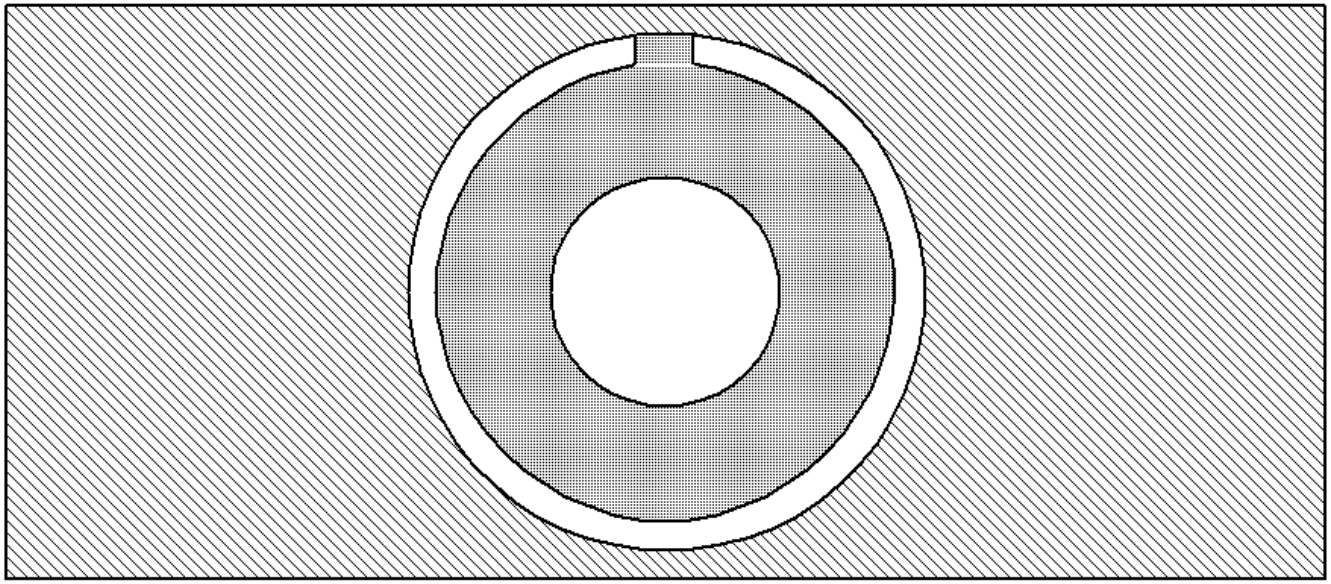
Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

Konačni presjek dvostrane tiskane pločice – slojevi

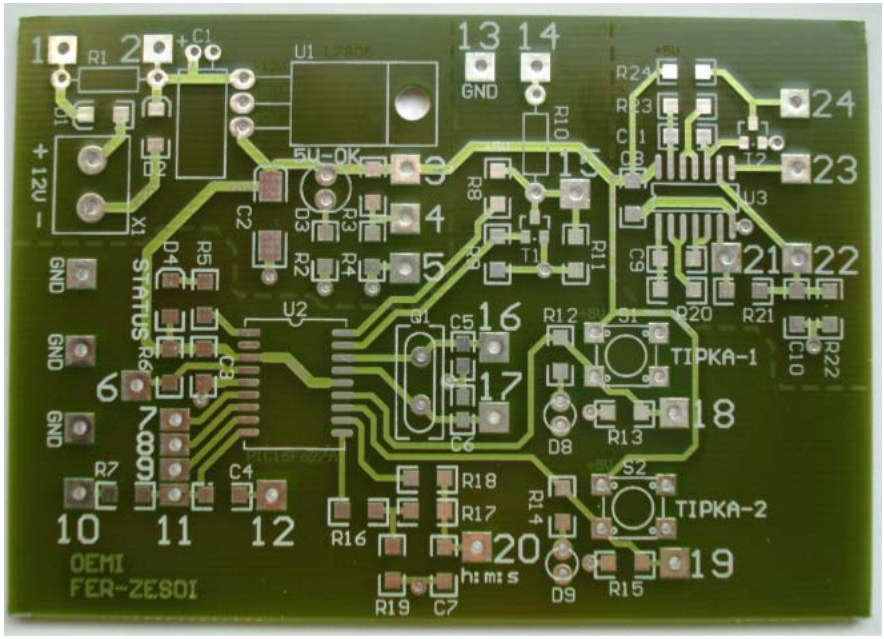


Tehnološki postupak izrade dvostrane tiskane pločice

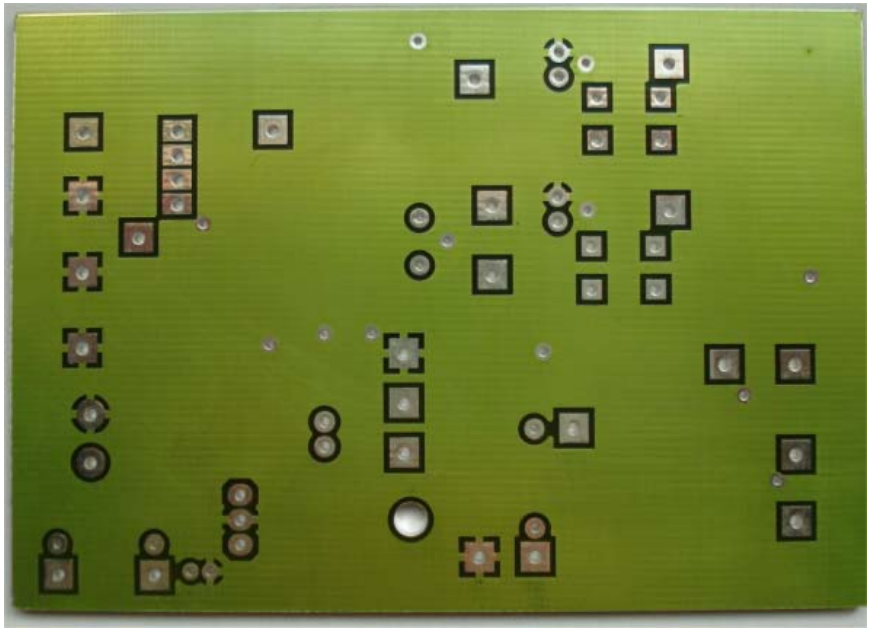
Nacrt prospojne rupe



Izgled tiskane pločice

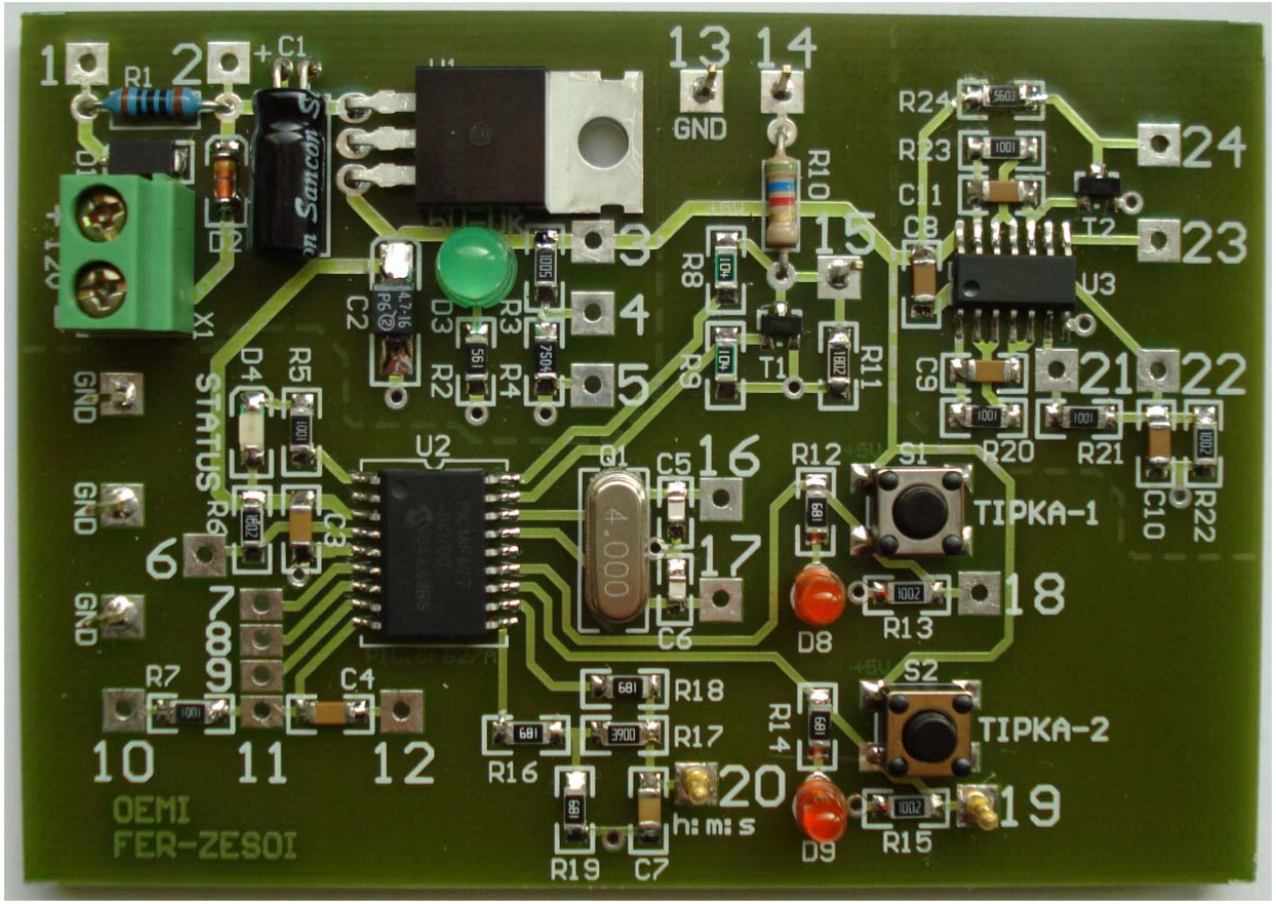


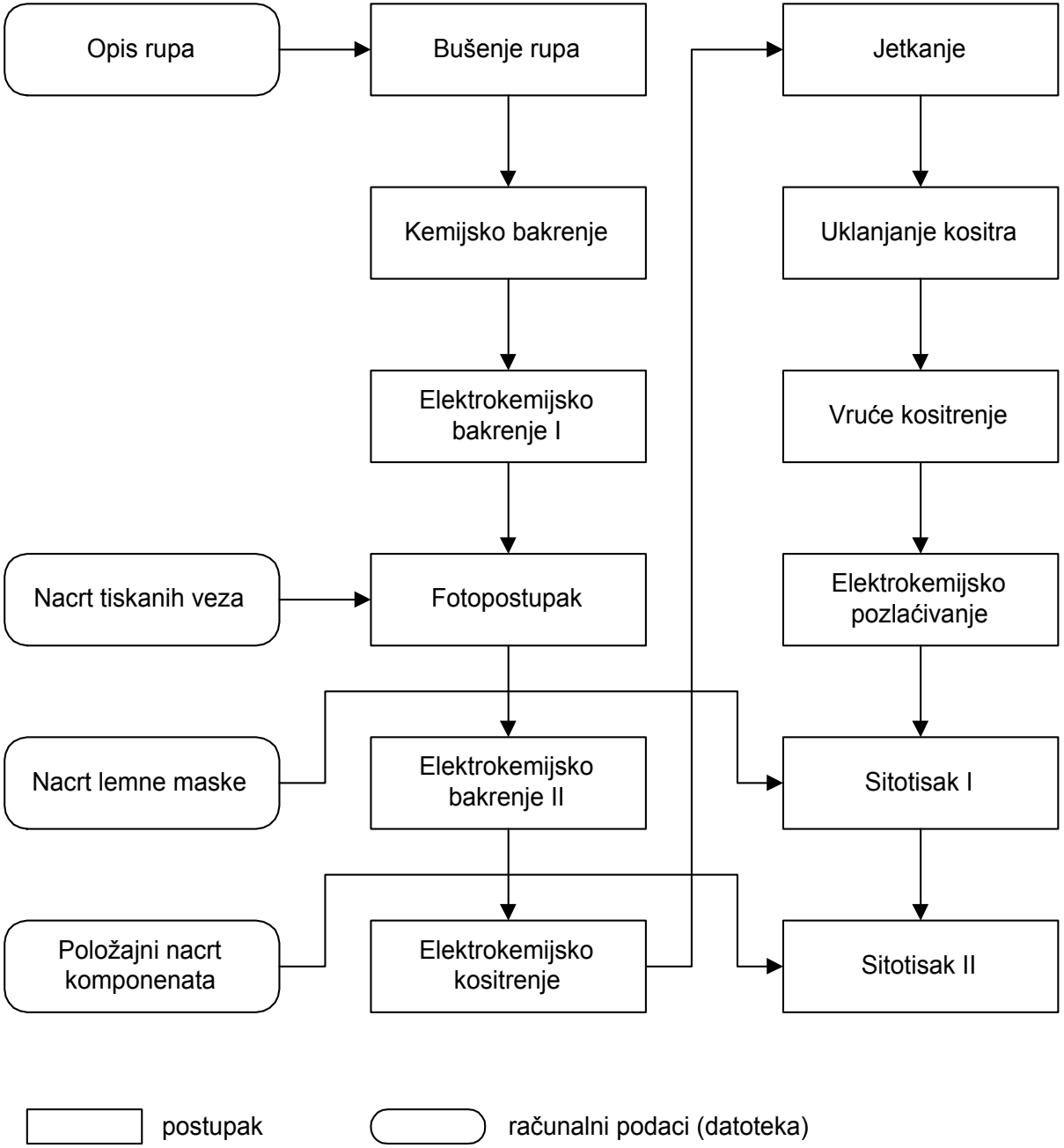
komponentna strana
(*top side*)



lemna strana
(*bottom side*)

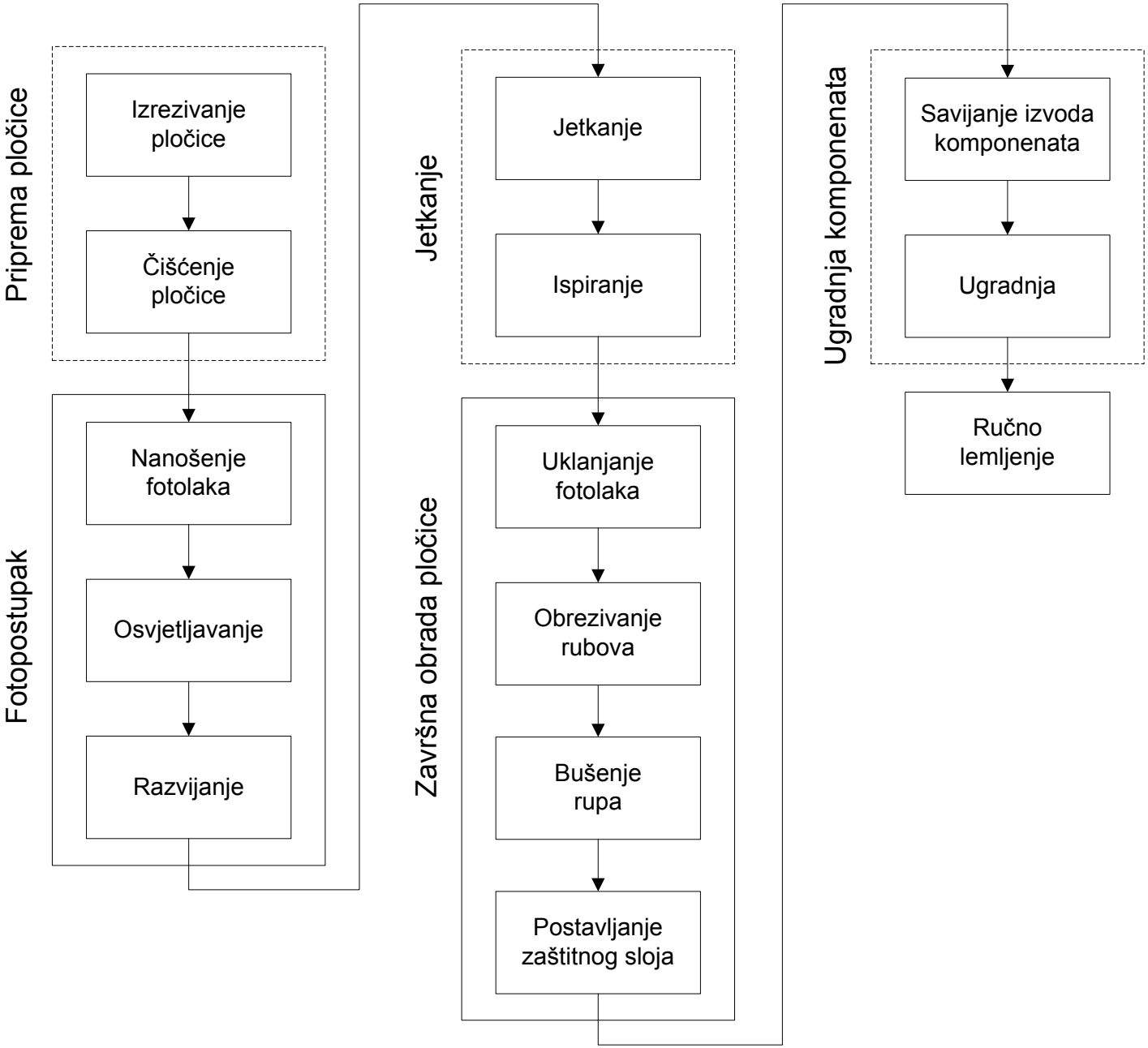
Izgled tiskane pločice




Opis rupa
Bušenje rupa
Jetkanje
Kemijsko bakrenje
Uklanjanje kositra
Elektrokemijsko bakrenje I
Vruće kositrenje
Nacrt tiskanih veza
Fotopostupak
Elektrokemijsko pozlaćivanje
Nacrt lemne maske
Elektrokemijsko bakrenje II
Sitotisak I
Položajni nacrt komponenata
Elektrokemijsko kositrenje
Sitotisak II
postupak
računalni podaci (datoteka)

Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

- jeftiniji postupak od tehnološki zahtjevnog procesa izrade dvostranih tiskanih pločica s vodljivim prospojnim rupama
- primjena: u razvoju i istraživanju (kada je potrebno realizirati jednostavnije prototipne tiskane pločice)
- takvim postupkom moguće je izraditi i dvostrane tiskane pločice (ako tolerancije vodljivih likova nisu prevelike)
- druge mogućnosti za jeftinu realizaciju prototipnih sklopova:
  - *protoboard*
  - *wire wrap* (uglavnom za digitalno sklopovlje na niskim frekvencijama)


Priprema pločice
Izrezivanje pločice
Čišćenje pločice
Fotopostupak
Nanošenje fotolaka
Osvjetljavanje
Razvijanje
Jetkanje
Jetkanje
Ispiranje
Završna obrada pločice
Uklanjanje fotolaka
Obrezivanje rubova
Bušenje rupa
Postavljanje zaštitnog sloja
Ugradnja komponenata
Savijanje izvoda komponenata
Ugradnja
Ručno lemljenje

Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

(1) Priprema pločice

(1.1) Izrezivanje pločice

- 5 – 10 mm veće dimenzije od konačnih, zbog bočnog prodiranja kemijskih spojeva u laminat

(1.2) Čišćenje pločice

- primjenom mehaničkih i kemijskih sredstava koja ne degradiraju naljepljeni bakreni sloj
- uklanjanje oksida i drugih nečistoća kako ne bi došlo do prekida vodljivih likova

Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

(2) Fotopostupak

(2.1) Nanošenje fotoosjetljivog laka

- fotoosjetljivi lak s pozitivnim djelovanjem
- hladnu, suhu i očišćenu pločicu prskati jednoliko s udaljenosti od oko 20 cm
- vanjski uvjeti: što manje prašine i svjetla
- sušenje laka:
  - 10 – 15 min (na temperaturi 70 °C)
  - 24 h (na sobnoj temperaturi)

Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

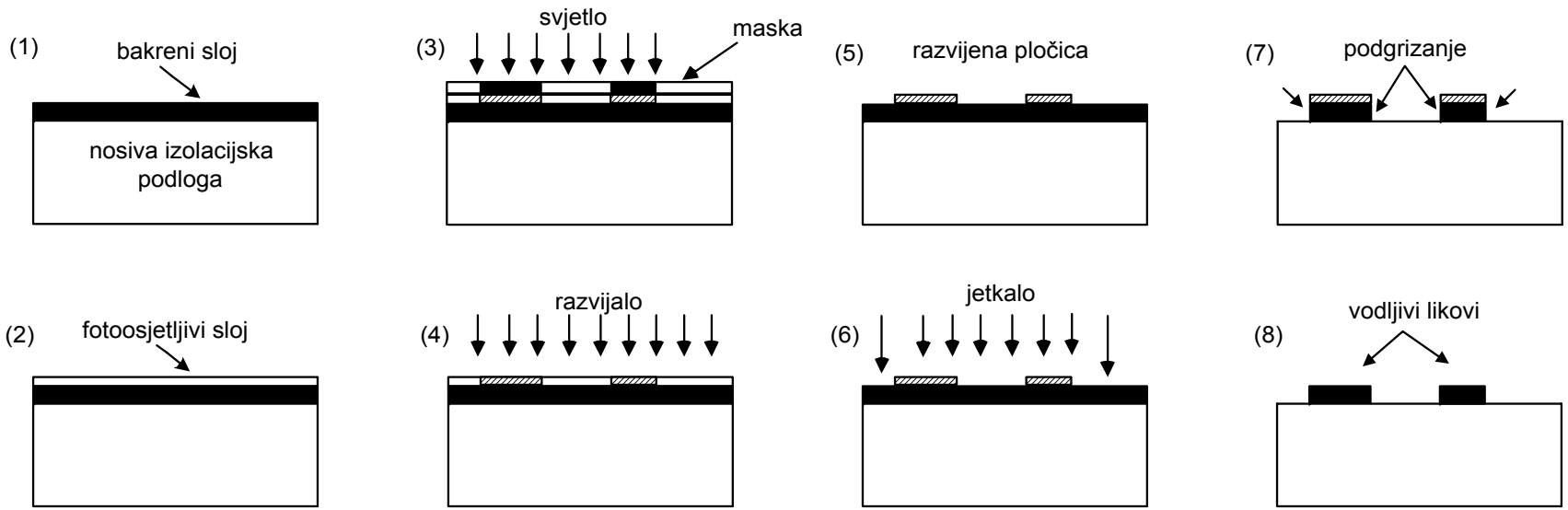
(2.2) Osvjetljavanje

- pozitiv film – ispisan laserskim pisačem na foliji ili paus-papiru
- mora dobro nalijegati na pločicu
- strana folije na kojoj se nalazi toner mora nalijegati na pločicu:
  - zbog ogiba svjetlosti za postizanje dovoljne oštrine vodljivih likova
  - zato ispis maske vodljivih likova iz CAD programa za lemnu stranu pločice (*bottom layer*) mora biti *zrcaljen*!
- trajanje osvjetljavanja:
  - ultraljubičasta svjetiljka: 40 – 50 s
  - grafoskop (vidljivo svjetlo): 5 – 10 min

Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

(2.3) Razvijanje

- 7%-tna otopina NaOH, na sobnoj temperaturi
- vrijeme razvijanja: oko 30 s (ovisno o koncentraciji lužine)
- nakon toga slijedi ispiranje vodom



Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

(3) Jetkanje

(3.1) Jetkanje vodljivih likova

- sredstva za jetkanje: $FeCl_2$, $CuCl_2$, amonij-persulfat, kromsumporna kiselina itd.
- $FeCl_2$ – mirna reakcija, dobro nagrizanje, brza reakcija, niska cijena
- jetkanje se može ubrzati strujanjem ili korištenjem pjenilice (na površini mjehura – visoka koncentracija $FeCl_2$)
- ograničiti trajanje jetkanja i paziti na podgrizanje vodljivih likova (efektivno smanjenje širine vodova i mogući prekid)
- predugo nagrizanje također nepovoljno djeluje na izolacijsku podlogu

Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

(3.2) Ispiranje vodom

- uklanjanje zaostalog $FeCl_2$
- spriječavanje daljnjeg nagrizanja bakra

(4) Završna obrada

(4.1) Uklanjanje zaostalog fotolaka

- mehanički, otapalima (aceton) ili ponovnim osvjetljavanjem bez maske i razvijanjem u lužini

(4.2) Obrezivanje rubova pločice na konačne dimenzije

Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

(4.3) Bušenje rupa (ručno)

- prema planu bušenja (*drill drawing*)
- važno:
  - kod ručnog bušenja na maski za izradu vodljivih likova treba ostaviti rupe (radi lakšeg ručnog pozicioniranja vrha svrdla)
  - za strojno bušenje lemne točke ostavljaju se zapunjene (kako ne bi došlo do savijanja i pucanja svrdla)

lemne točke za ručno bušenje

lemne točke za strojno bušenje

Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

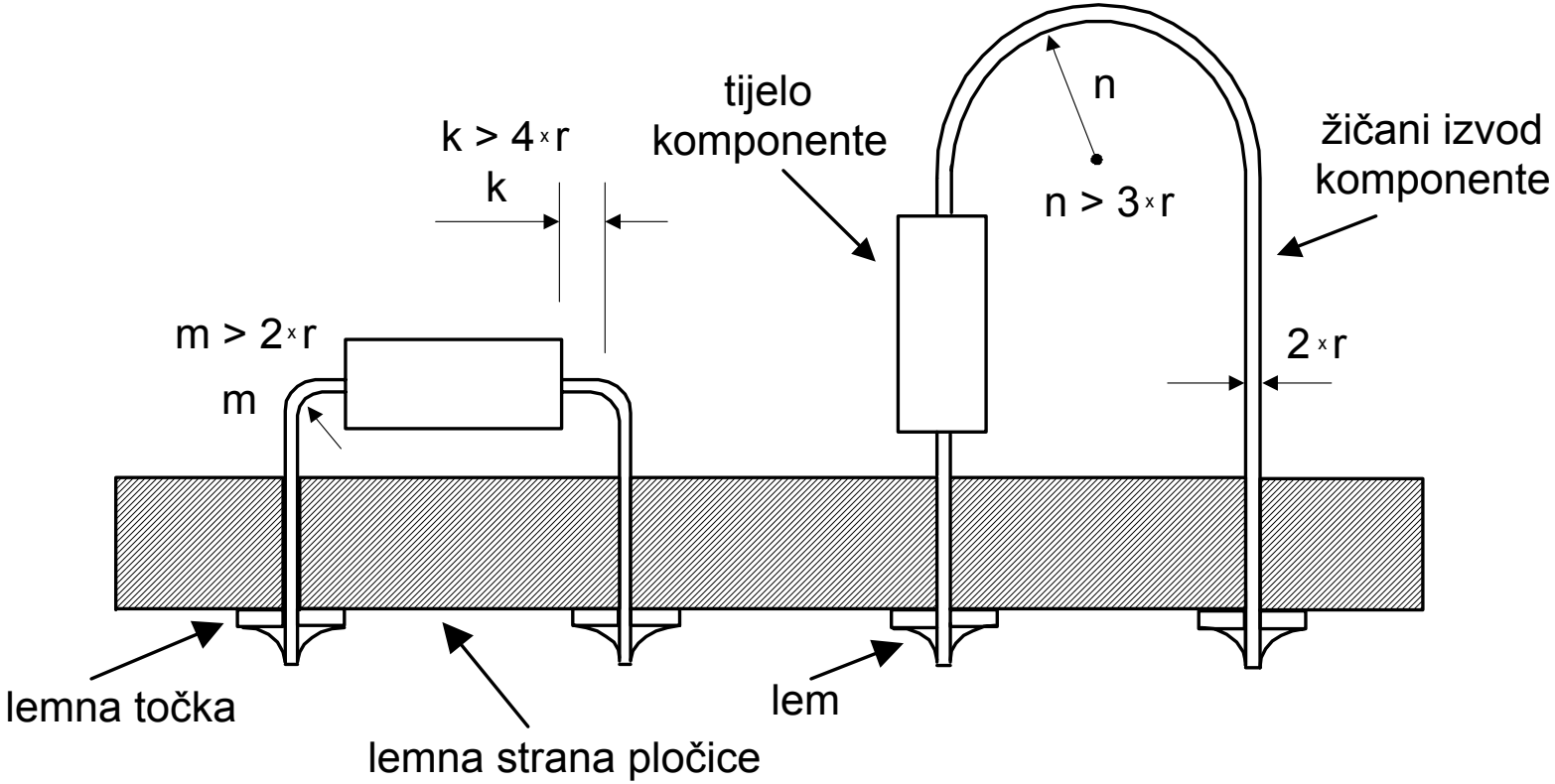
(5) Ugradnja komponenata sa žičanim izvodima

- *through-hole components* – komponente čiji izvodi prolaze kroz rupu u pločici
- SMD (*surface mount device*) – komponente koje se leme onoj istoj strani gdje su postavljene

(5.1) Savijanje izvoda komponenata

- za komponente kao što su otpornici, kondenzatori, zavojnice, diode i sl.
- pravila za projektiranje položaja lemnih rupa

Ugradnja komponenata s žičanim izvodima



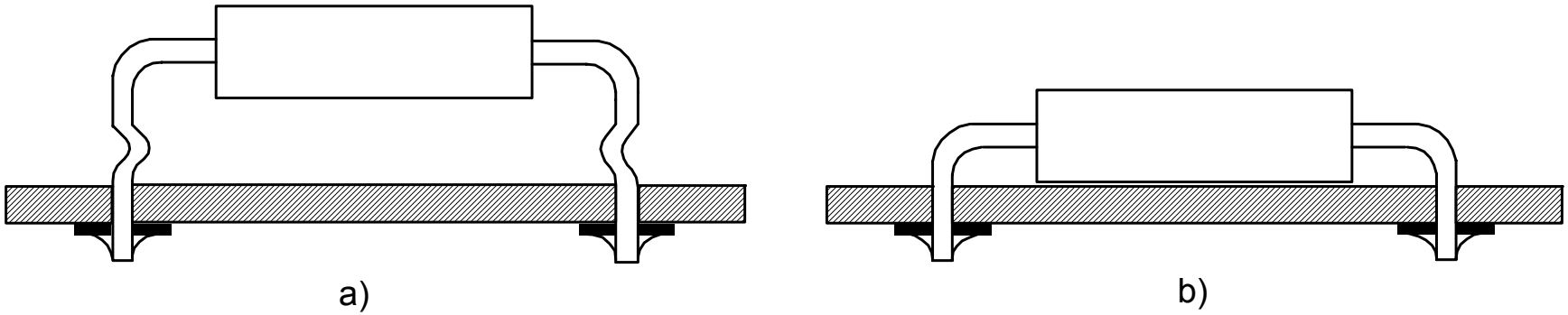
Pravilno smještanje komponenata i savijanje njihovih žičanih izvoda

Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

(5.2) Ugradnja komponenata na tiskanu pločicu

- sortirati komponente prema visini (počevši od najnižih)
- iterativni postupak lemljenja prema grupama komponenata
- skraćivanje duljine izvoda komponenti radi sprječavanja nepotrebnog odvođenja topline (na 5 mm)
- voditi računa da komponente s većom disipacijom ne naliježu izravno na pločicu
- dozvoljeno temperaturno optrećenje podloge (trajno):
  - pertinaks – do 110 °C
  - vitroplast – do 130 °C

Ugradnja komponenata s žičanim izvodima



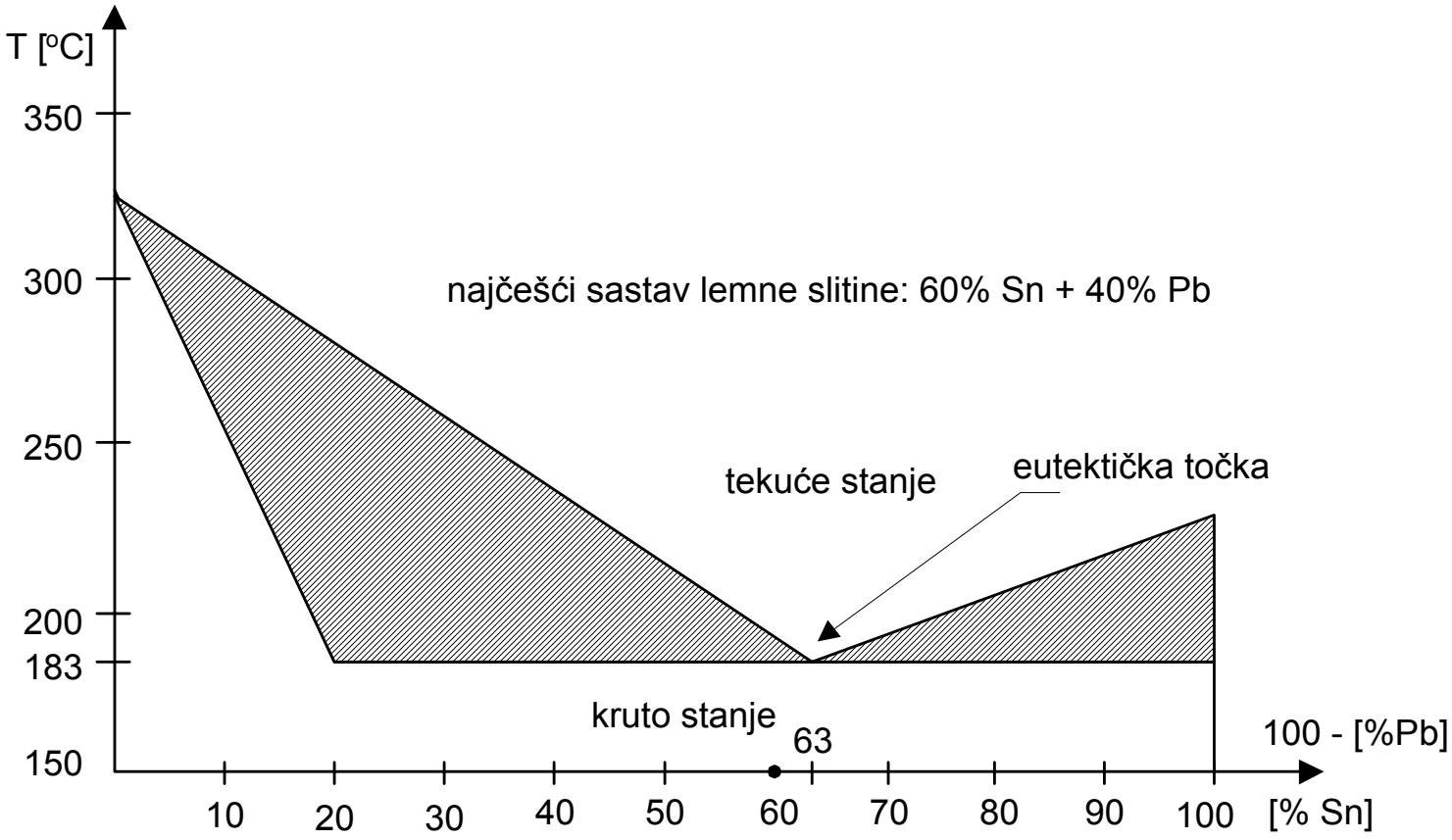
Pravilna **a)** i nepravilna **b)** ugradnja komponente koja se zagrijava tijekom rada

Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

(6) Lemljenje

- metalurško povezivanje kovina (izvoda elektroničkih komponenti i vodljivih likova)
- lemna slitina: Sn : Pb = 60 : 40 (+ primjese Cu, Au...)
- **tinol** – šuplja lem-žica u čijem se središtu nalaze aditivi (najčešće na bazi **kalofonija**) za čišćenje lemnih mjesta (oksida na površini bakra), ostvarivanje boljih spojeva, bolji prijenos topline itd.
- tehnologije strojnog lemljenja:
  - potapanjem u lemnu slitinu
  - lemni val
  - pretaljivanje (u lemnim pećima)
- kod ručnog lemljenja potrebno je voditi računa o temperaturi vrha lemilice, načinu odvođenja topline, trajanju lemljenja itd.

Lemljenje

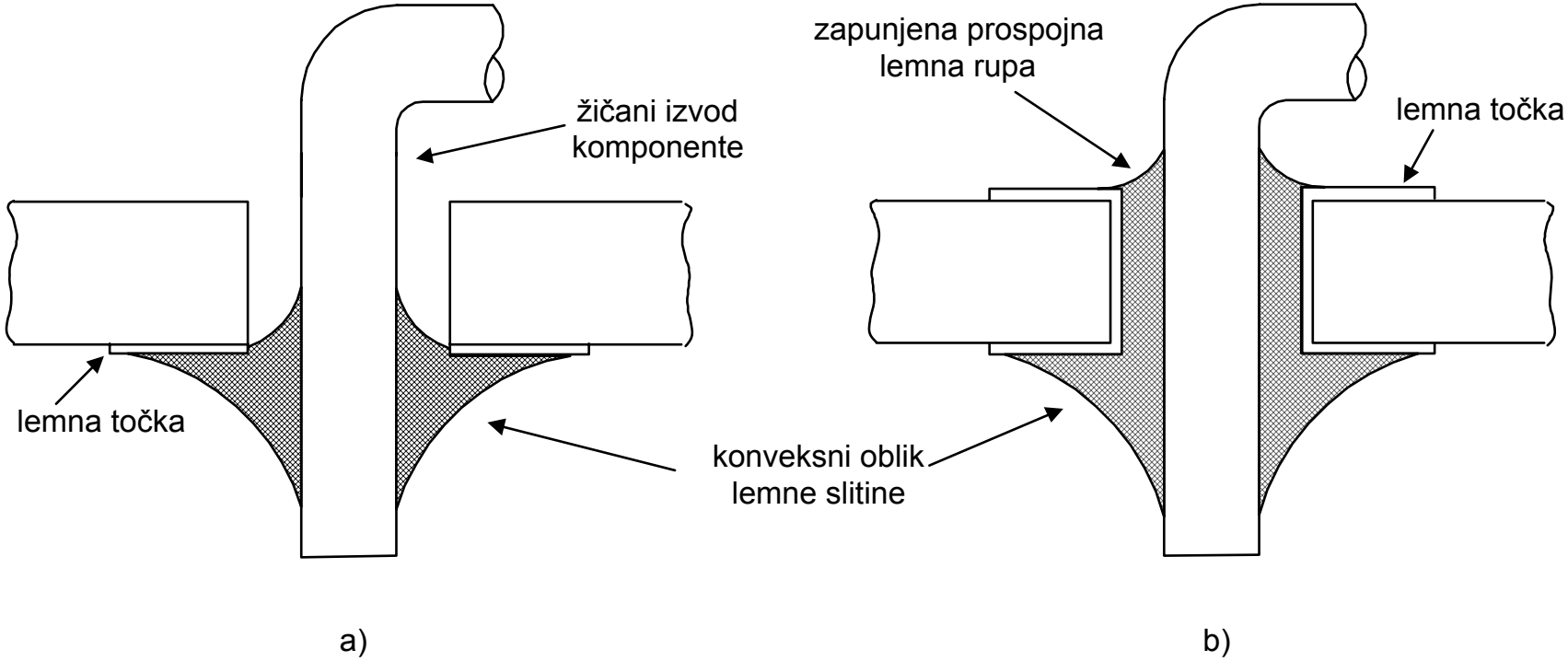


Ovisnost temperature tališta slitine kositar-olovo (Sn/Pb) o postotnom sastavu

Postupak laboratorijske izrade jednostranih tiskanih pločica

- kvaliteta lemljenja – važna za ispravan rad sklopa
- ispravan lem:
  - srebrnkast sjaj, konveksni oblik lema
- hladni lem (nedovoljno zagrijavanje):
  - zagasit sjaj, konkavan oblik lema
  - slaba električka i mehanička veza, mogućnost pucanja spoja
- vrući lem (pretjerano zagrijavanje):
  - zlatni sjaj lema
  - opasnost od odvajanja vodljivih likova od podloge i pucanja bočnih stranica vodljivih stijenki

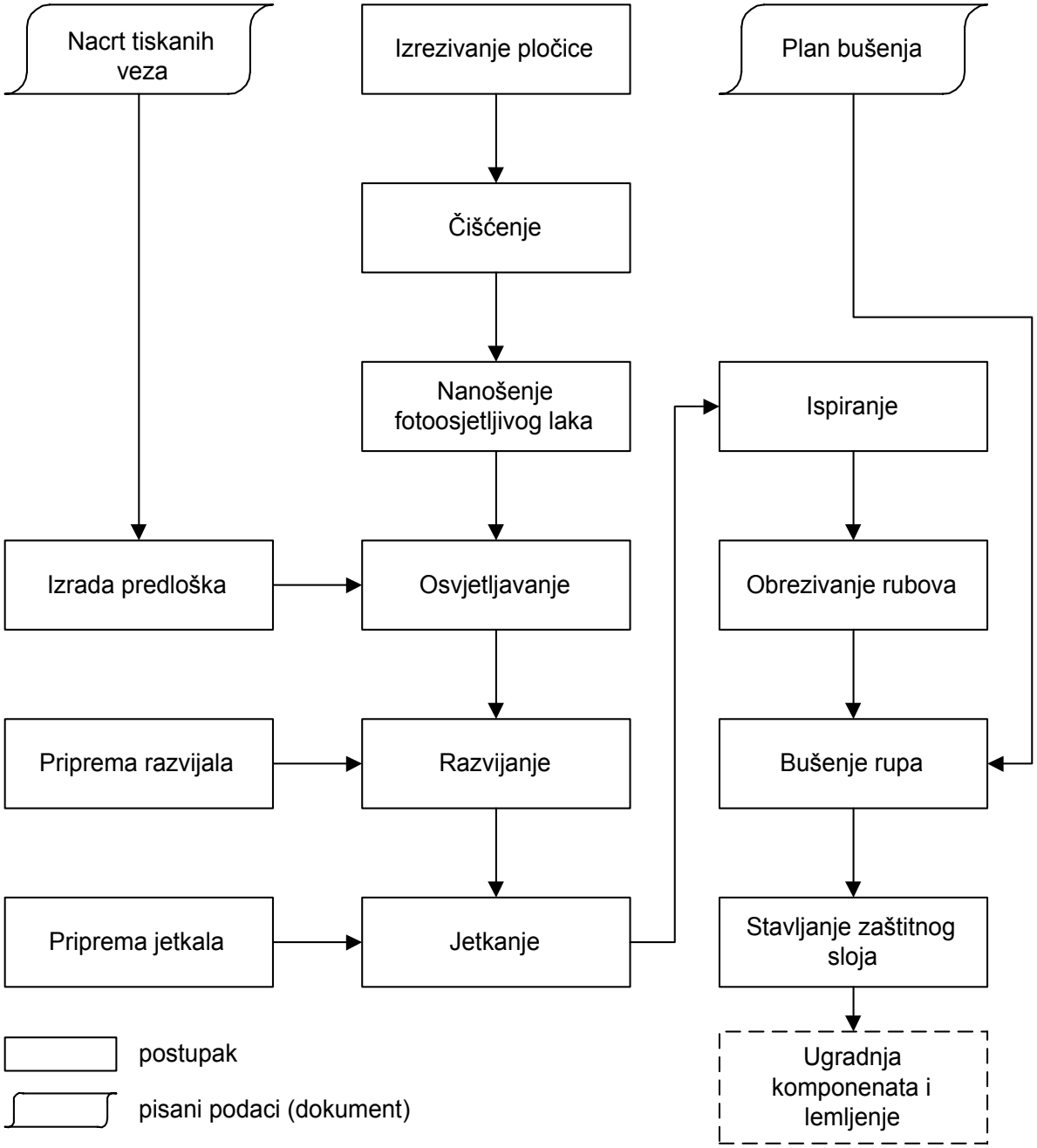
Lemljenje izvoda komponenti



Izgled pravilno zalemljenog lemnog mjesta na **a)** jednostranoj i **b)** dvostranoj tiskanoj pločici

Lemljenje izvoda komponenti

- izabrati vrh lemila prikladne veličine
- skratiti izvode komponenata kako bi se smanjilo nepotrebno odvođenje topline
- lemilom zagrijati lemno mjesto; potom dodati tinol koji se mora razliti i pravilno oblikovati te brzo podići lemilo
  - podloge na osnovi stakla dopustivo je na temperaturi 260°C zadržati do 20 sekundi, a one na osnovi papira do 5 sekundi
- pregledati lemni spoj
  - ako je nepravilan (hladni ili pregrijani lem, premalo ili previše lemne slitine) zagrijati ga, ukloniti lemnu slitinu pumpicom te ponoviti postupak lemljenja
- provesti postupak čišćenja tiskane pločice (uklanjanje zaostalih aditiva radi sprječavanja korozije)


Nacrt tiskanih veza
Izrezivanje pločice
Plan bušenja
Čišćenje
Nanošenje fotoosjetljivog laka
Ispiranje
Izrada predloška
Osvjetljavanje
Obrezivanje rubova
Priprema razvijala
Razvijanje
Bušenje rupa
Priprema jetkala
Jetkanje
Stavljanje zaštitnog sloja
Ugradnja komponenata i lemljenje
postupak
pisani podaci (dokument)

RoHS (Pb-free) tehologija

- *Restriction of Hazardous Substances Directive* (RoHS) – EU zakonske smjernice vezane za uporabu i deponiranje otrovnih materijala u industriji (olovo, živa, kadmij itd.) (na snazi od srpnja 2006.)
- zabrana upotrebe Sn/Pb lemne slitine u elektroničkoj industriji i olova u elektroničkim komponentama (osim za određene klase uređaja, npr. biomedicinske)
- alternativne *Pb-free* lemne formulacije - problemi:
  - više radne temperature procesa lemljenja (temperaturna izdržljivost komponenata i materijala za tiskane pločice)
  - nekompatibilnost sa standardnim postupkom lemljenja (posebna oprema)
  - skuplji materijali
  - lošija lemljivost
- još uvijek ne postoji univerzalno prihvaćena zamjena za standardni Sn/Pb proces

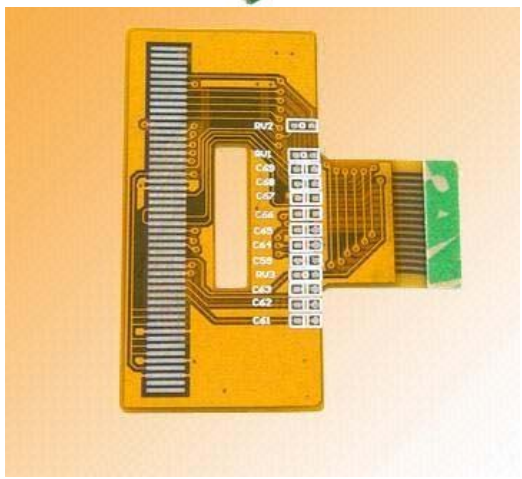
RoHS (Pb-free) tehologija

- olovna tehnologija koristi se već cijelo stoljeće
- poznati dugoročni efekti
- dobre karakteristike:
  - otpornost na oksidaciju
  - lemljivost
  - pouzdanost
- bezolovne formulacije
  - dvo- i višekomponentne slitine
  - optimirani samo neki od ciljnih parametara (eutektička formulacija, razmjerno niska temperatura tališta, dobra lemljivost, kemijska inertnost, mehanička svojstva, netoksičnost, proizvodna cijena itd.)
  - radne temperature – 260 – 300 °C (olovo: 240 – 260 °C) – *popcorn efekt*!
  - nekompatibilnost s postojećom lemnom opremom
  - za različite lemne postupke preporučuju se različite lemne formulacije – problem servisiranja
  - cijena materijala: x2 – x4
  - patenti

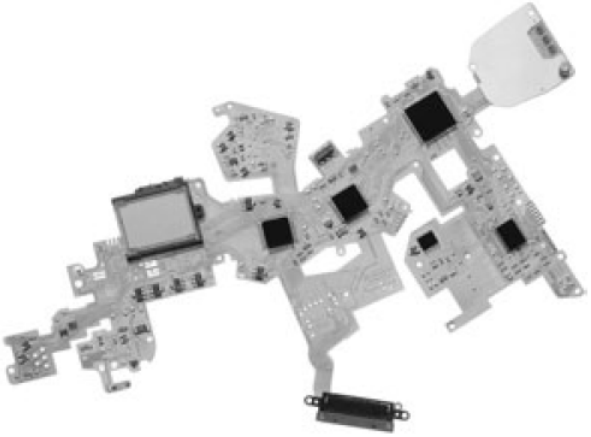
Savitljive tiskane pločice (*flexible PCB)*

- tiskane veze realiziraju se na tankoj savitljivoj podlozi
- krute (*rigid PCB*) ↔ savitljive (*flexible PCB*) tiskane pločice
- jednostrane, dvostrane i višeslojne savitljive tiskane pločice
- primjene:
  - zamjena za višežilne kabele
  - ostvarenje sklopovlja visokog stupnja složenosti u malenom volumenu (mogućnost savijanja pločice u 3D i prilagodba obliku kućišta)
  - u mobilnim telefonima, kamerama, fotoaparatima, ručnim računalima, kalkulatorima, tvrdim diskovima itd.
- primjer: povezivanje poluvodičkog senzora slike (CCD ili CMOS) na fotoaparatu s ostalim sklopovljem (senzori slike imaju tipično i do nekoliko stotina izvoda)

Savitljive tiskane pločice (*flexible PCB)*



Savitljive tiskane pločice (*flexible PCB)*

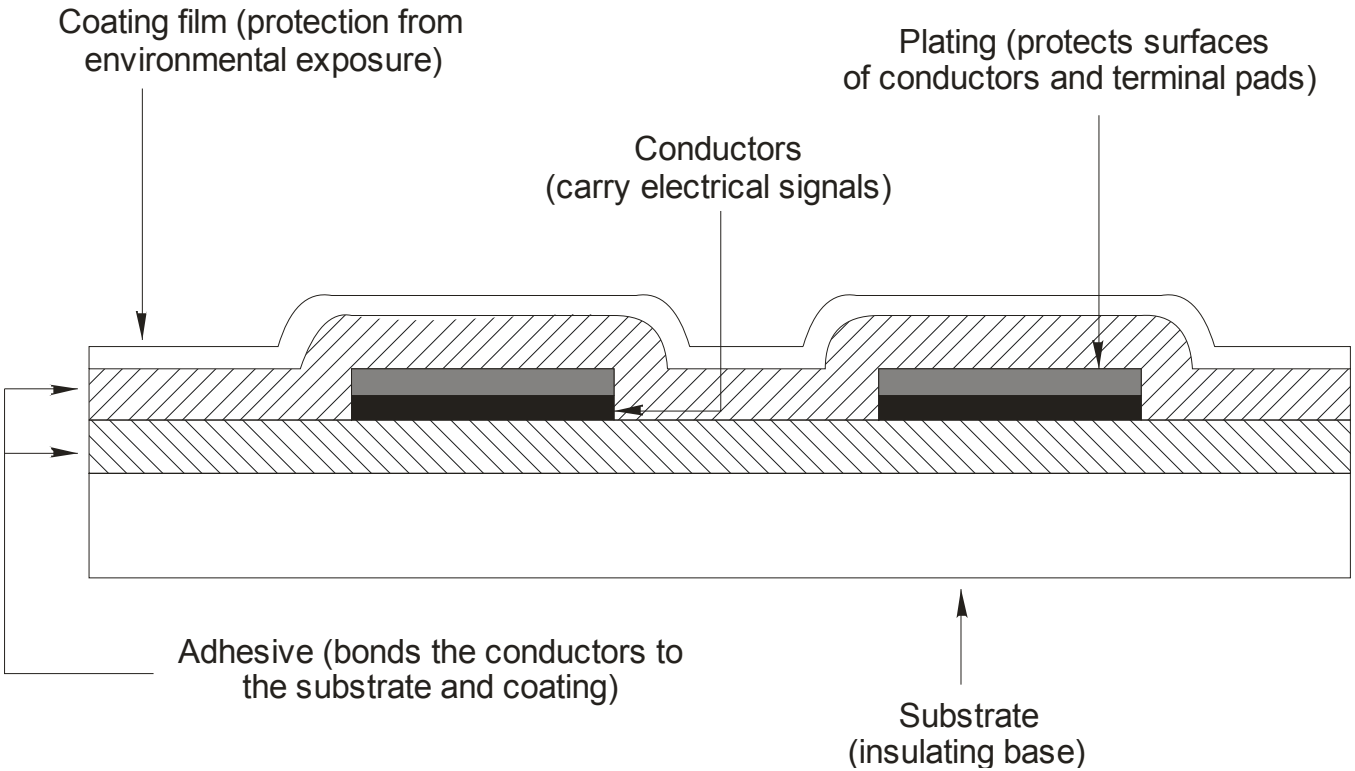


Savitljive tiskane pločice (*flexible PCB)*

- prednosti:
  - fleksibilnost, mogućnost savijanja u 3D, manja masa i dimenzije, visoka gustoća spojeva između komponenti u malenom volumenu, jeftnije i pouzdanije povezivanje više tiskanih pločica (u odnosu na klasično kabliranje), bolja električka svojstva spojeva
- nedostaci:
  - proizvodna cijena (posebno *NRC*), složen postupak projektiranja i proizvodnje (posebni alati), teško i skupo rukovanje i servisiranje *(rework),* mehanička osjetljivost, nestabilnost dimenzija

Savitljive tiskane pločice (*flexible PCB)*

- građa (primjer za jednostranu pločicu):



Savitljive tiskane pločice (*flexible PCB)*

- krute tiskane pločice imaju prednost pred savitljivima u većini primjena
- savitljive pločice odabiru se samo onda kada postoji ili cjenovno opravdanje ili kada nije moguće drugačije izvesti rješenje za određenu primjenu

Zahtjev	**Primjena**
Visoka gustoća povezivanja komponenata unutar malenog volumena	Kamere, fotoaparati
Malena masa	Kalkulatori
Trodimenzijsko ožičenje	Prednje ploče u automobilima, kamere, prijenosna računala
Pouzdano ožičenje	Industrijske aplikacije, avioindustrija
Dugotrajna izdržljivost veza na savijanje	Pisači, tvrdi diskovi, CD uređaji, VCR

Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

3. Tehnologija površinske montaže (SMT)

M. Cifrek, H. Džapo

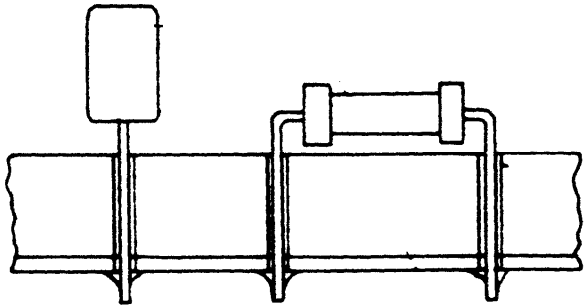
ak.god. 2011/2012

Računalom podržano projektiranje elektroničkih uređaja

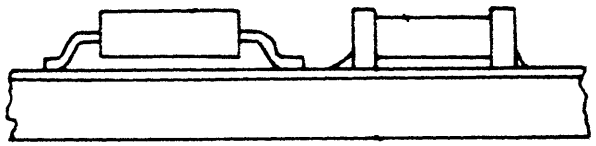
Tehnologija površinske montaže

- engl. s*urface mounting technology (SMT)*
- za SMT je karakteristično da se komponente i njihovi izvodi nalaze s iste strane tiskane pločice
- dvije osnovne skupine elektroničkih komponenti obzirom na izvedbu kućišta:
  - komponente sa žičanim izvodima (*through-hole components*)
  - komponente za površinsku montažu (*surface-mount devices, SMD*)

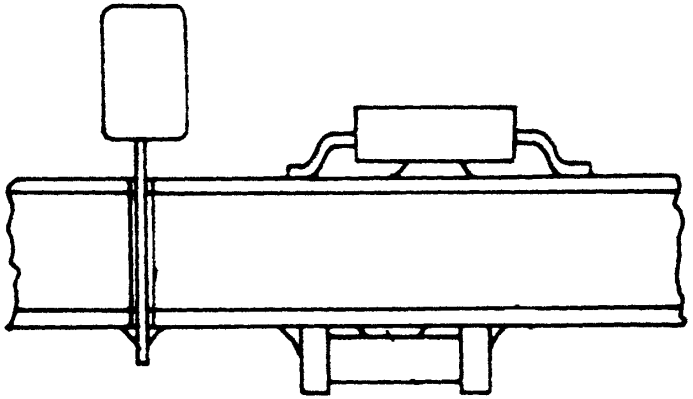
Tehnologija površinske montaže



klasična (*through-hole*) montaža

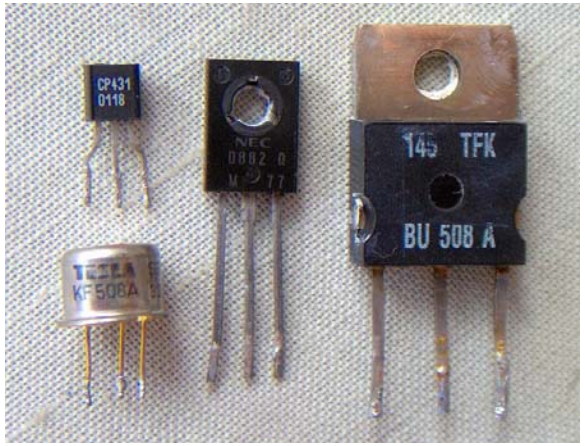


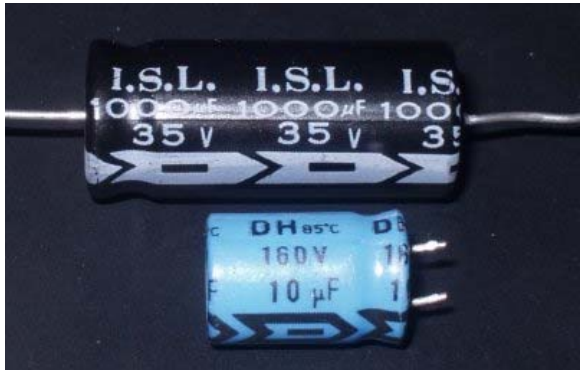
površinska (*SMT*) montaža

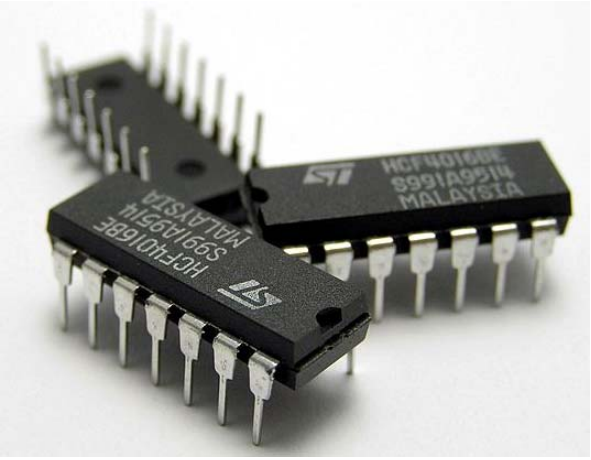


mješovita montaža

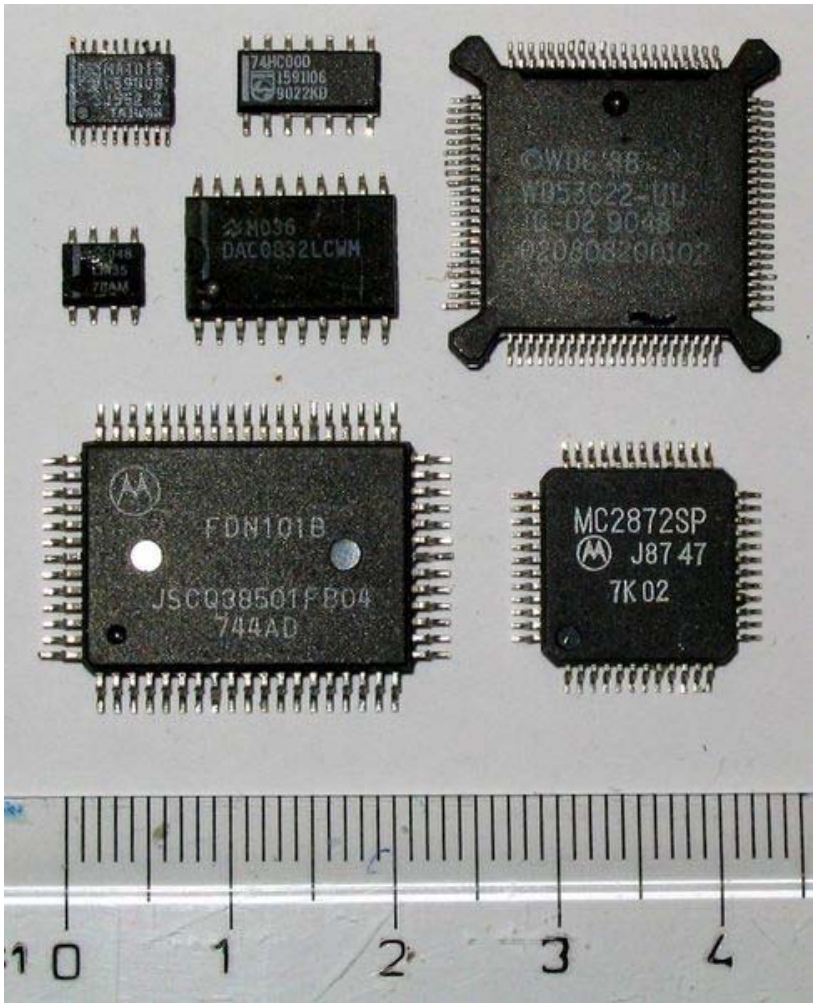
Primjeri komponenata sa žičanim izvodima

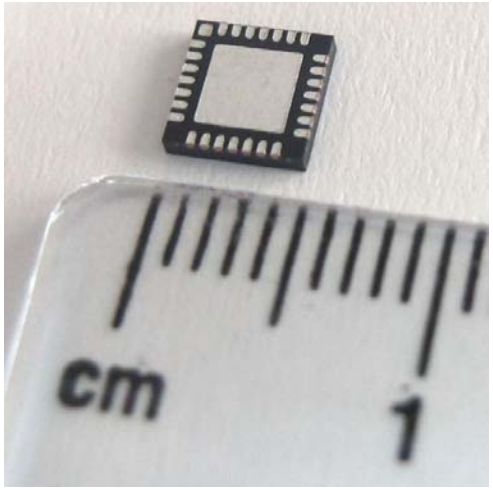




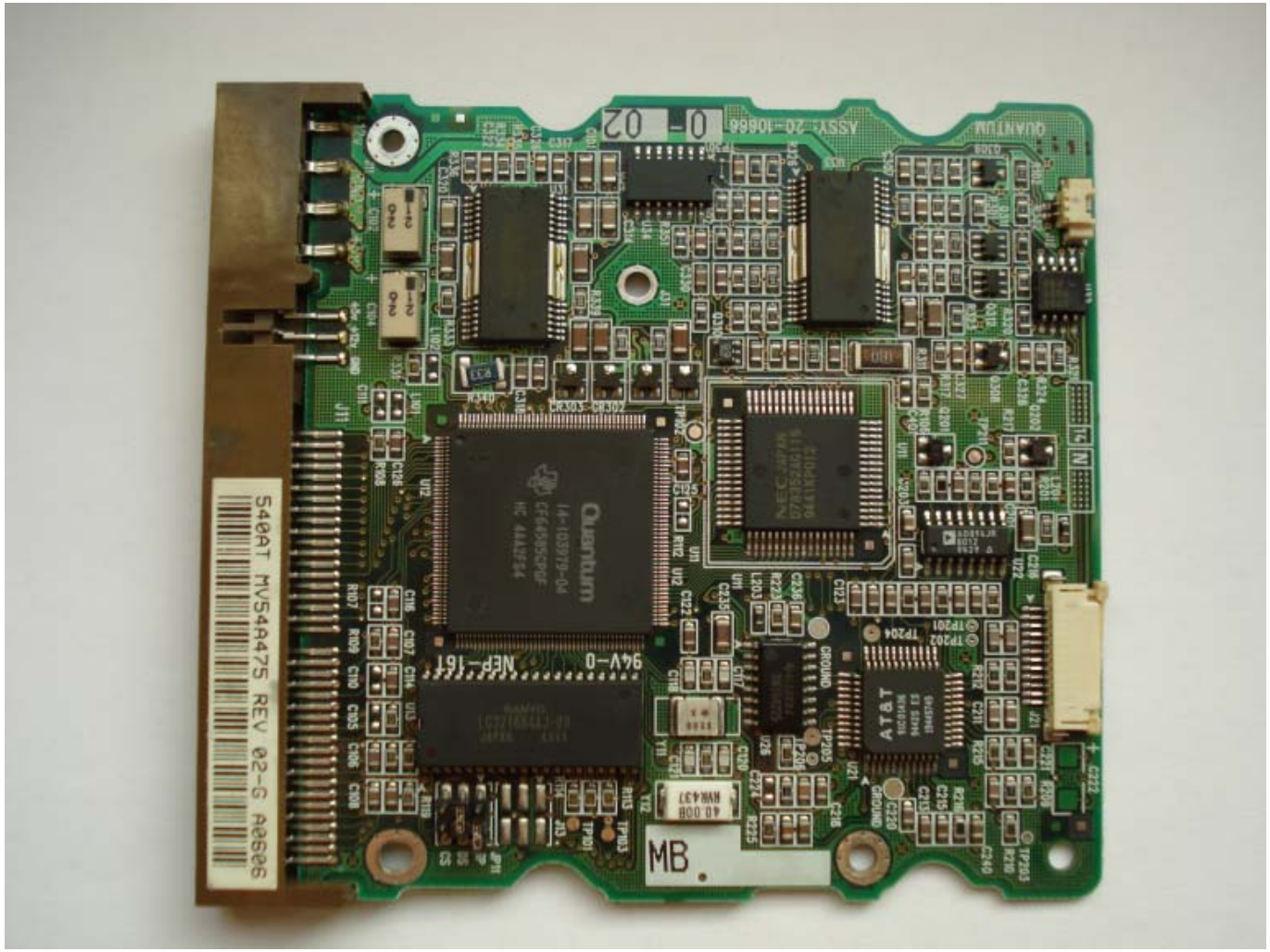


Primjeri SMD komponenata

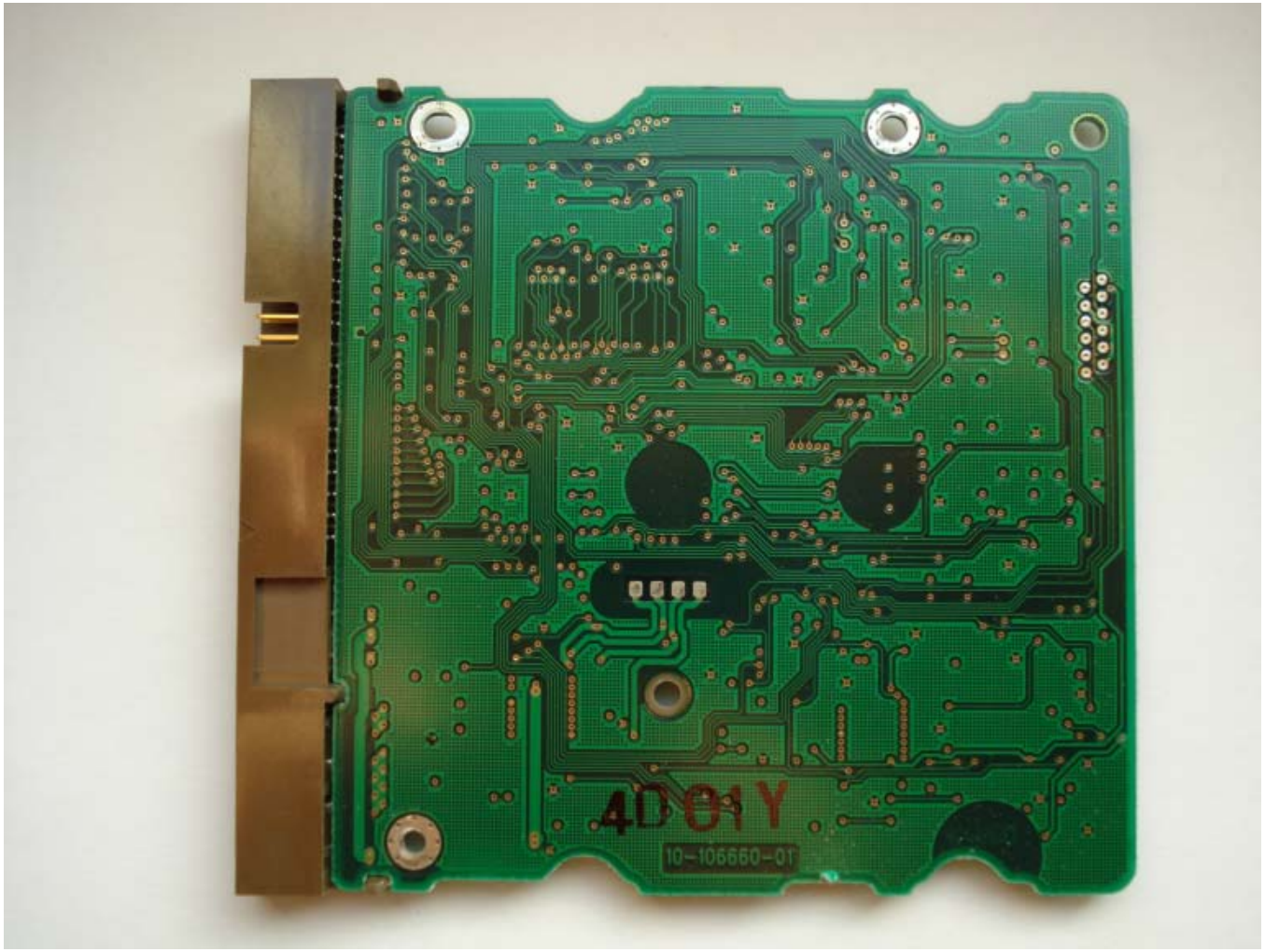




Tiskana pločica sa SMD komponentama



Tiskana pločica sa SMD komponentama



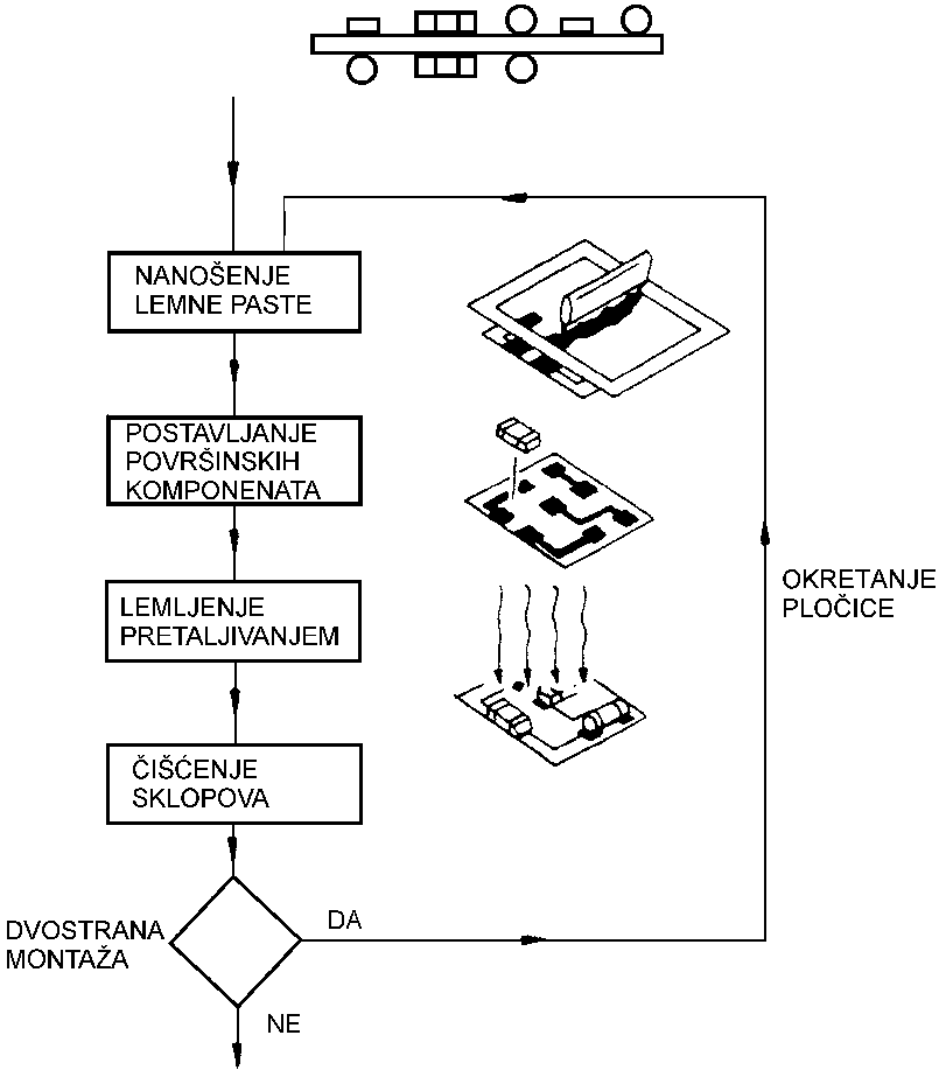
Tehnologija površinske montaže

- prednosti:
  - minijaturizacija (ušteda na prostoru i masi 50-70%)
  - potpuno automatizirana proizvodnja
  - bolje električke karakteristike (veća brzina rada)
  - bolje mehaničke karakteristike (izdržljivost na udarce i vibracije)
  - veći broj izvoda od klasičnih komponenata
- nedostaci:
  - složeniji tehnološki postupci lemljenja
  - teže ispitivanje zbog slabije pristupačnosti priključcima komponenti (potrebne test točke na pločici)
  - nedostupnost nekih komponenata u SMD (poglavito nekih pasivnih s višim nazivnim vrijednostima)

Proizvodni postupci

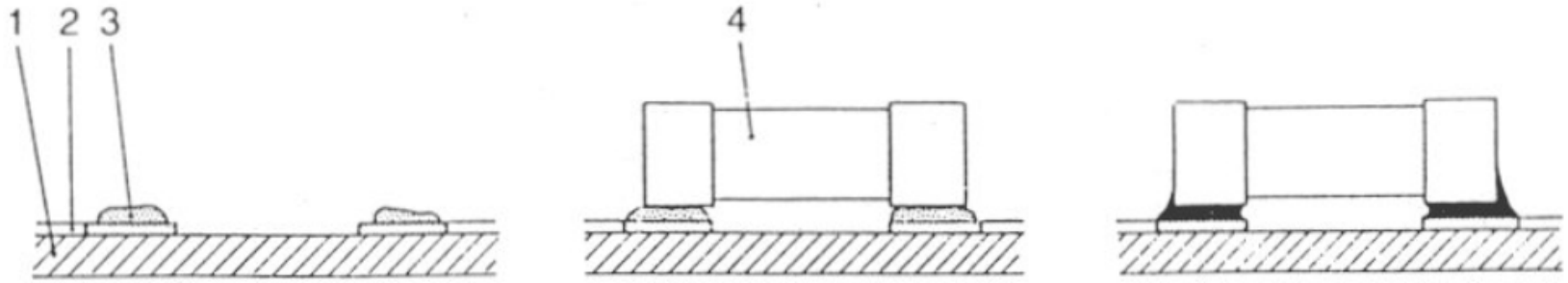
- tipovi SMT tiskanih pločica:
  - Tip 1 – jednostrane/dvostrane tiskane pločice s isključivo SMD komponentama
    - prednost: jednostavno procesiranje
    - nedostatak: nemogućnost dobave nekih komponenti u SMD izvedbi
  - Tip 2 – dvostrane t.p. sa SMD komponentama s jedne strane pločice, a klasičnima s druge strane
    - najčešće se koristi
  - Tip 3 – dvostrane t.p. sa SMD komponentama s jedne strane pločice, a klasičnima i SMD s druge strane
    - prednost: fleksibilnost
    - nedostatak: složeno procesiranje

Proizvodni postupak za pločice tipa 1



Proizvodni postupak za pločice tipa 1

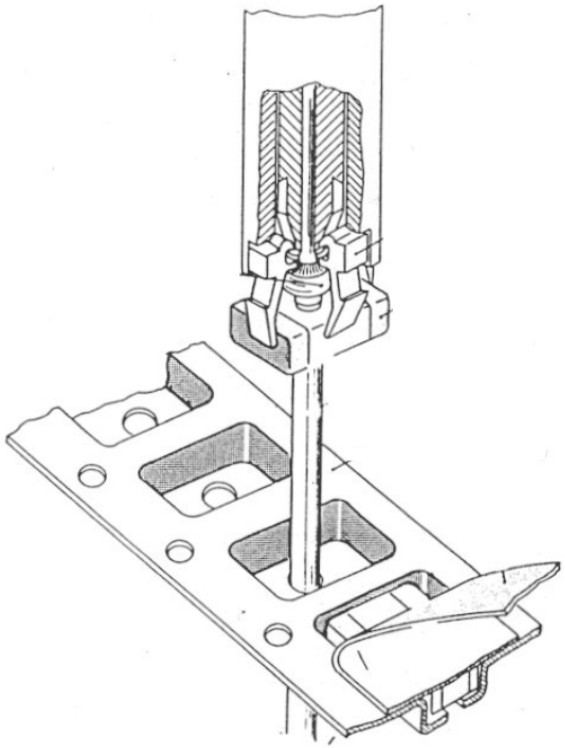
- nanošenje lemne paste:
  - tehnika sitotiska ili primjenom dozatora
  - engl. *solder paste* (*paste mask* – tehnološki predložak)
- lemljenje pretaljivanjem lemne paste (*reflow soldering*) (ako se lemi na lemnom valu, tada se nanosi ljepilo)



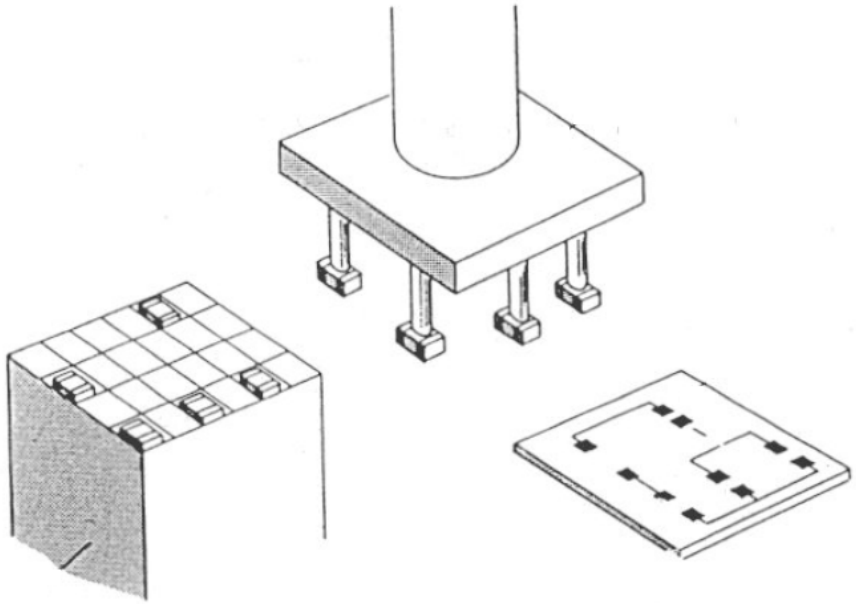
1 – izolacijska podloga tiskane pločice, 2 – vodljivi likovi, 3 – lemna pasta, 4 – SMD komponenta

Proizvodni postupak za pločice tipa 1

- automatsko postavljanje površinskih komponenata

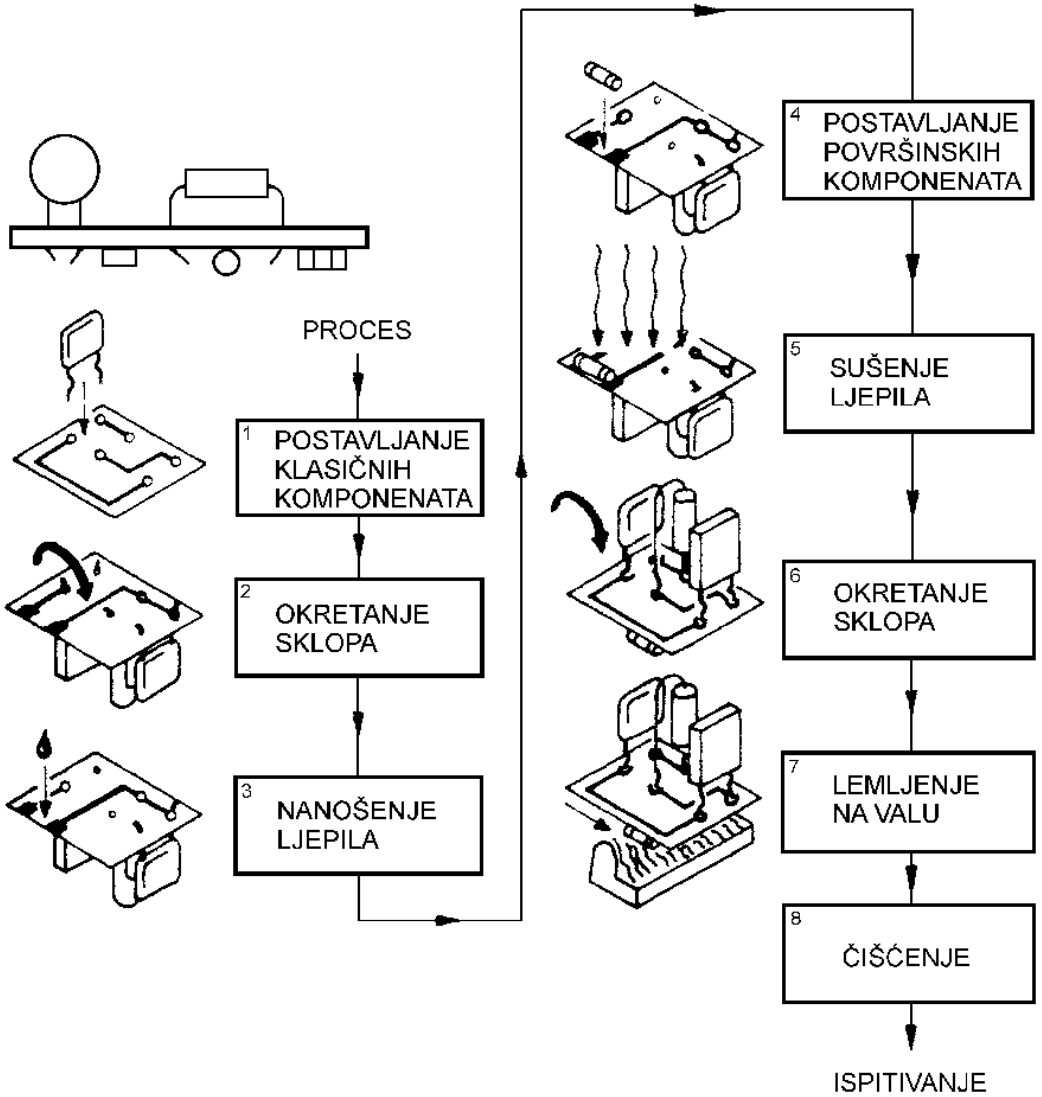


robotska hvataljka



vakuumska hvataljka

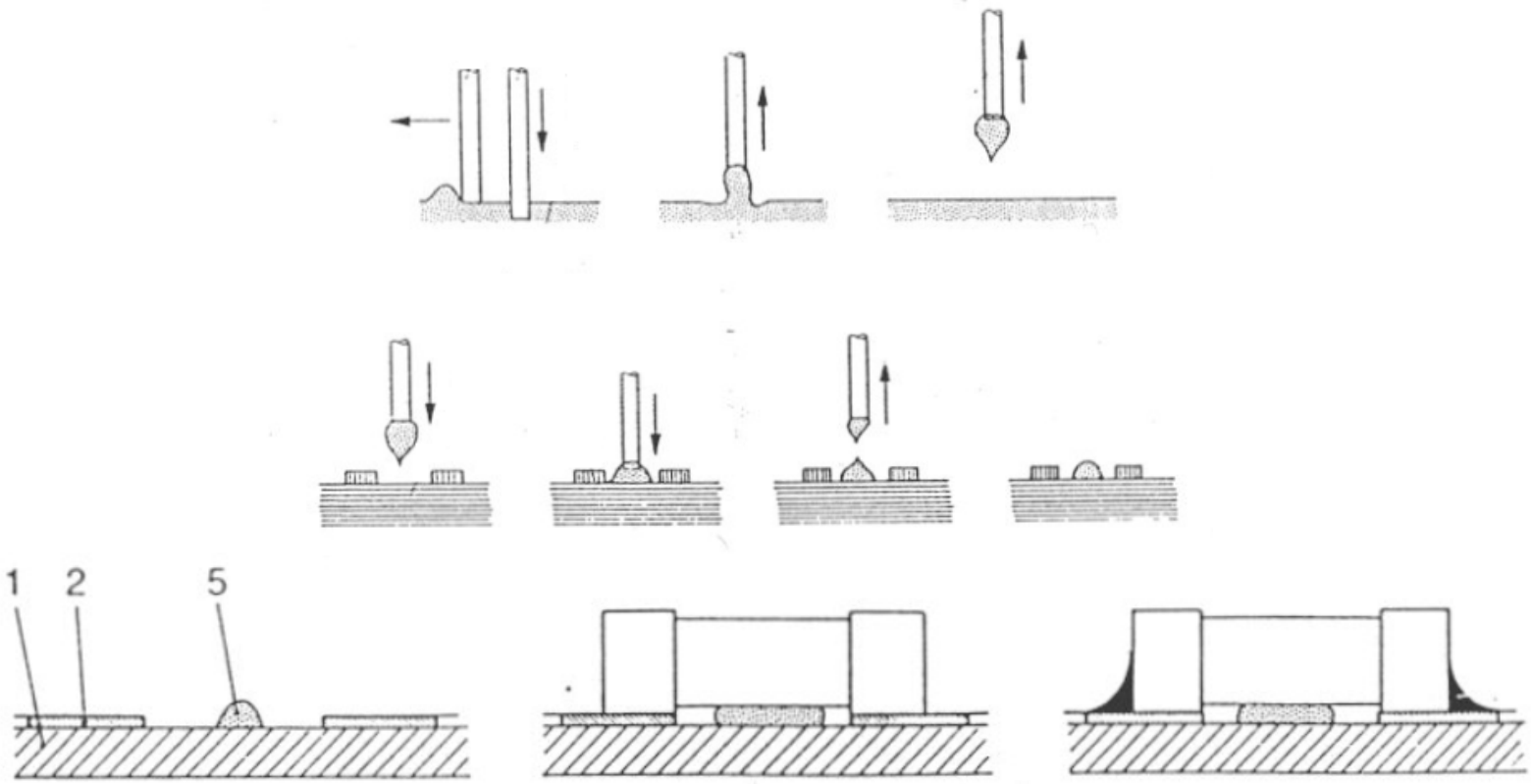
Proizvodni postupak za pločice tipa 2



Proizvodni postupak za pločice tipa 2

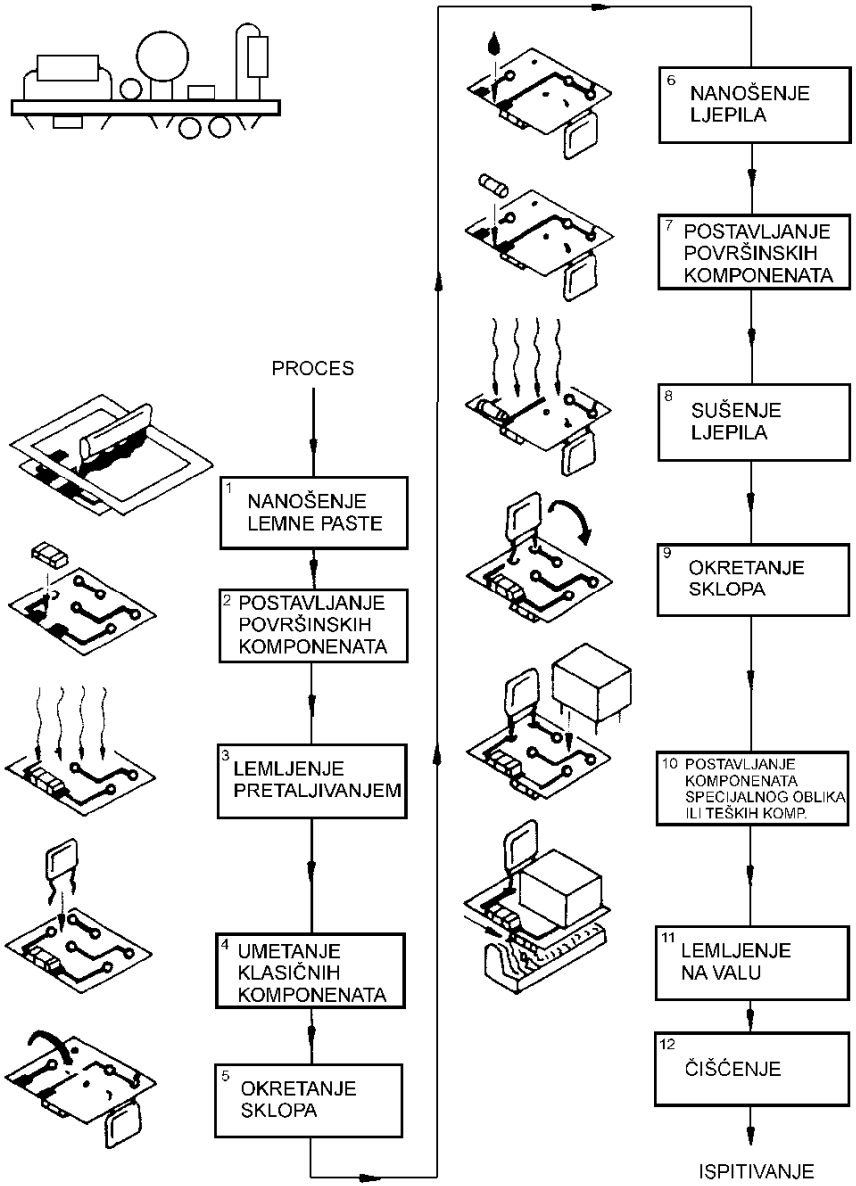
- nanošenje ljepila:
  - primjenom mikrodozatora, sitotiska ili pin transfera
  - potrebno kod postupka lemljenja na valu (termostabilno ljepilo, sprječava ispadanje SMD komponenata)
- klasične komponente s jedne, a SMD s druge strane tiskane pločice
- lemljenje na valu

Proizvodni postupak za pločice tipa 2



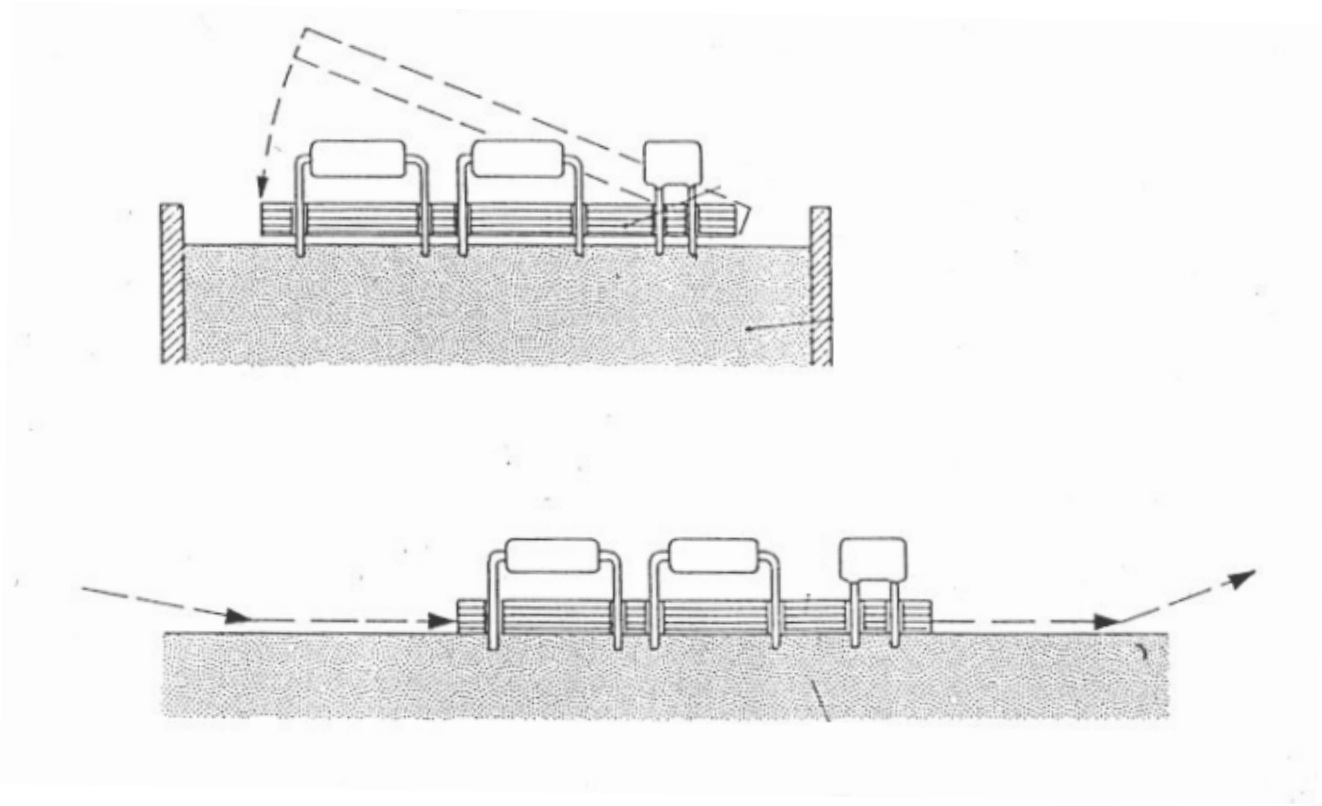
1 – izolacijska podloga tiskane pločice, 2 – vodljivi likovi, 5 – ljepilo

Proizvodni postupak za pločice tipa 3



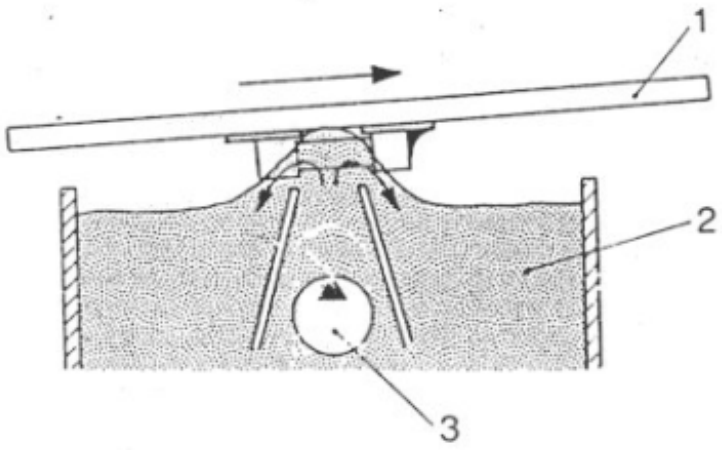
Tehnologije lemljenja

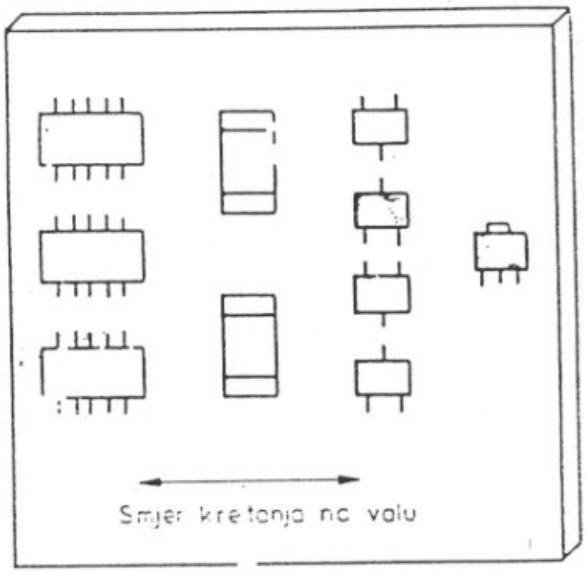
- lemljenje na lemnoj kupki provlačenjem pločice



Tehnologije lemljenja

- lemljenje na valu



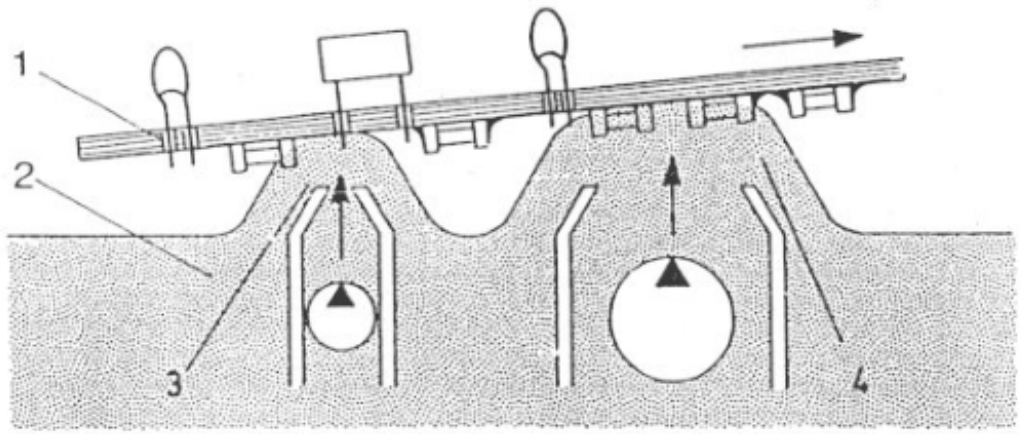


1 – tiskana pločica, 2 – lemna slitina, 3 – pumpa

pravilan smještaj SMD komponenata za lemljenje na valu

Tehnologije lemljenja

- lemljenje na dvostrukom lemnom valu:



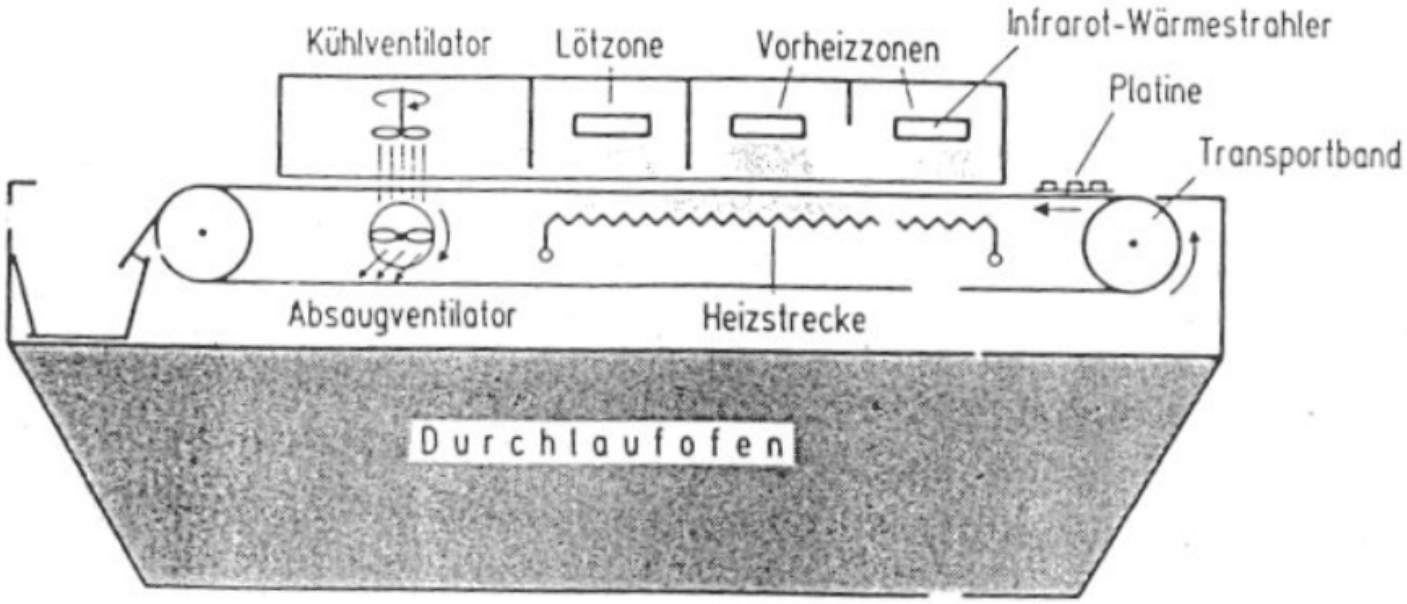
1 – tiskana pločica, 2 – lemna slitina,
3 – pumpa za predval, 4 – pumpa za glavni val

Lemljenje na valu

- nije potrebna *paste maska,* ali je neophodna *lemna maska* (zaustavni lak, *solder mask*) – sprječava premoštavanje vodljivih likova i ograničava potrošnju lemne slitine
- lemljenje na dvostrukom valu je bolje – sekundarni val uklanja višak lemne slitine

Tehnologije lemljenja

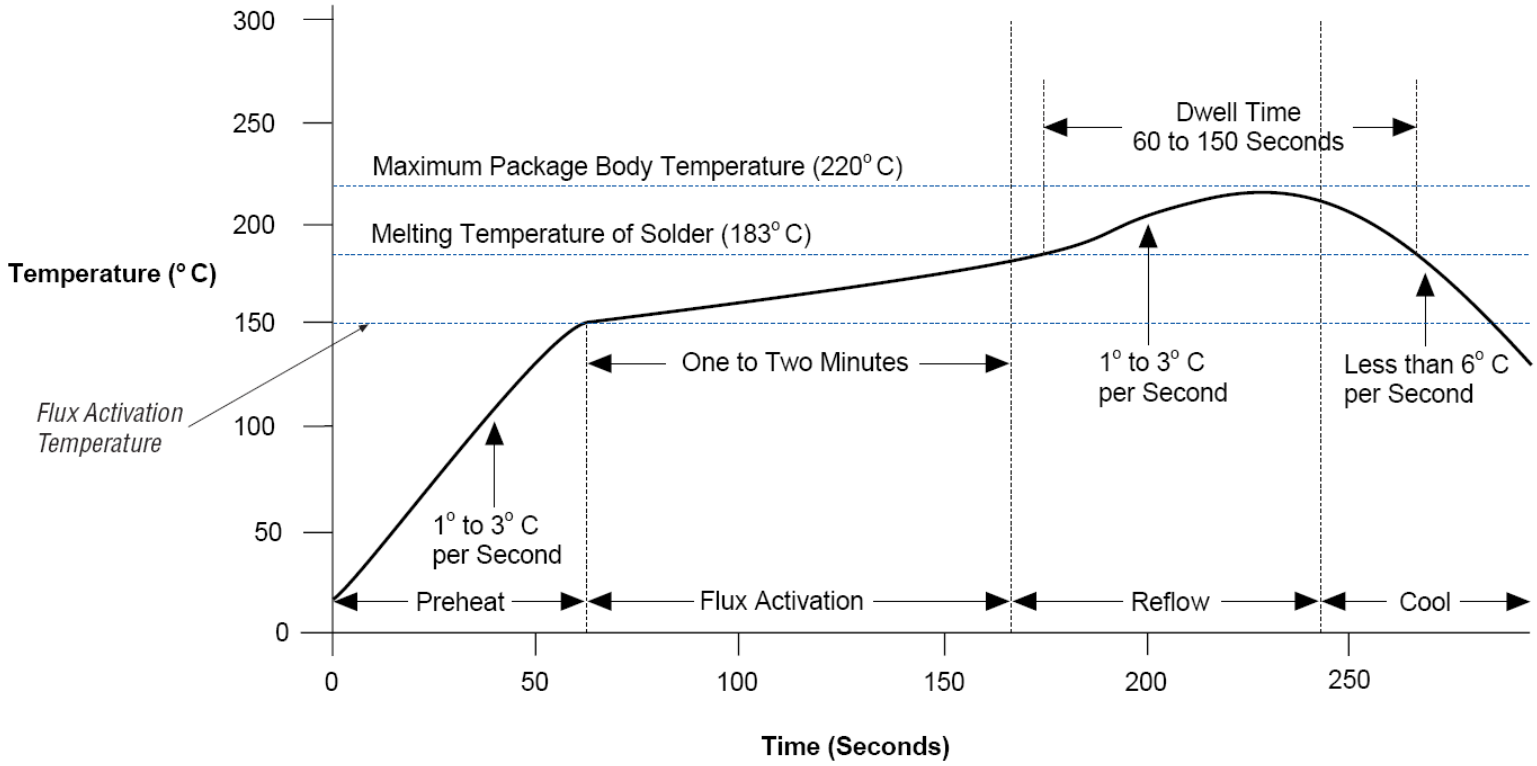
- lemljenje pretaljivanjem u infracrvenoj peći (*IR reflow soldering*)



Lemljenje pretaljivanjem u IC peći

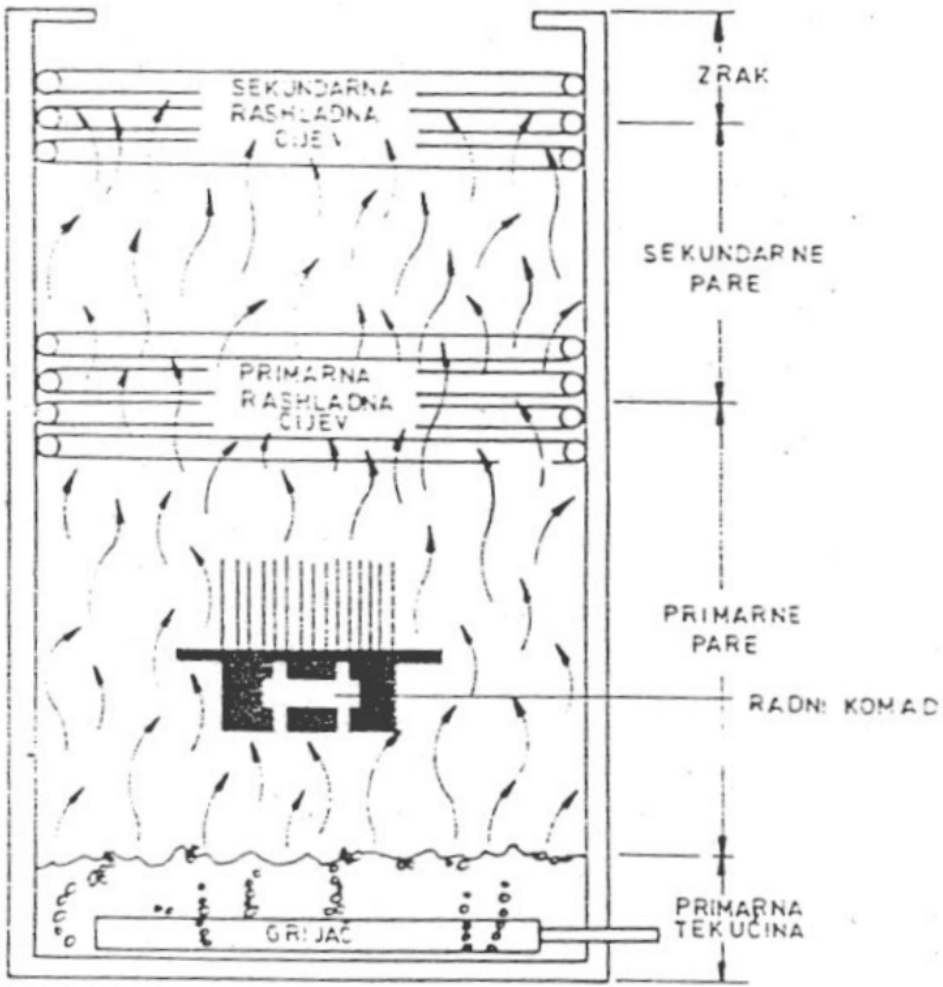
- lemljenje pretaljivanjem – pod utjecajem povišene temperature tali se lemna pasta
- tunelske peći s nekoliko nezavisnih IC izvora i pokretnom trakom
- obavezna *paste maska*
- potrebno ostvariti temperaturni profil u skladu sa specifikacijama proizvođača

Primjer temperaturnog profila za lemljenje pretaljivanjem



Tehnologije lemljenja

- lemljenje na lemnim parama (*vapor phase soldering*)



Lemljenje pretaljivanjem u plinovitoj fazi

- pločica se postavlja u paru inertnog flourougljika
- primarna tekućina – visoka cijena (~100$/kg)
- primarne i sekundarne pare
  - sloj sekundarnih para sprječava gubitak primarnih para u atmosferu
  - sekundarne pare imaju nižu temperaturu vrelišta
  - temperatura primarne rashladne cijevi održava se iznad temperature vrelišta sekundarnih para, ali dovoljno nisko za kondenzaciju primarne pare

Lemljenje pretaljivanjem – usporedba postupaka

IC pretaljivanje	Plinovita faza
Prednosti	
niža cijena postupka bolja kontrola parametara procesa	brzina jednolikost zagrijavanja tiskane pločice mogućnost trodimenzijskog lemljenja inertna radna atmosfera
Nedostaci	
ne radi se u inertnoj atmosferi	visoka cijena (skupa oprema i primarna tekućina)

Tehnologije lemljenja

- čišćenje sklopova:
  - lemna pasta sastoji se od fluksa i sitnih lemnih čestica (~ 50 – 150 μm)
  - fluks – kemijsko sredstvo koje čisti okside s metalnih površina koje je potrebno međusobno zalemiti
  - zbog kemijske agresivnosti fluks je potrebno ukloniti nakon lemljenja postupkom čišćenja, kako ne bi došlo do degradacije svojstava tiskane pločice:
    - otapala
    - voda
    - ultrazvuk

Materijali (laminati) za SMT tiskane pločice

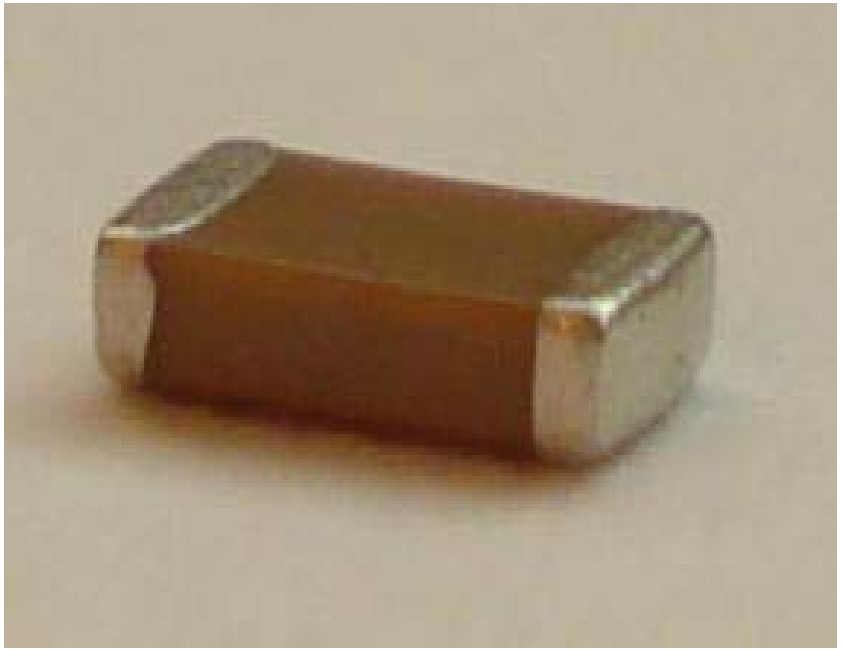
- SMT – povećana gustoća komponenata, ali i termička naprezanja uslijed disipacije
- važno uskladiti termičke koeficijente laminata α_{PCB} i kućišta SMD komponenata α_{SMD} (opasnost od pucanja spojeva)
- najčešće se koriste materijali FR-2 i FR-4
- mogućnost podešavanja termičkog koeficijenta rastezanja α_{PCB} zamjenom npr. staklenih vlakana drugim materijalima i dodavanjem kovinskih slojeva u laminat

SMD komponente

- Pasivne:
  - otpornici
  - kondenzatori (elektrolitski, keramički)
  - zavojnice
  - kristali
  - filtri itd.
- Aktivne:
  - diode
  - svjetleće diode (*light-emitting diode*, LED)
  - tranzistori
- Integrirani sklopovi
  - najčešća kućišta: SOT, SOIC, QFP, QFN, PLCC, BGA

SMD komponente - pasivne

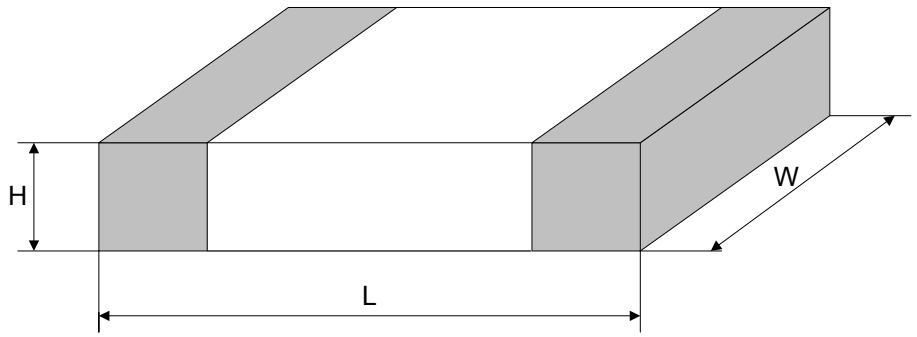
SMD otpornik



SMD keramički kondenzator

- Manje kućište → manji U_{max} i P_{max}

SMD komponente - pasivne



Oznaka	*L*, mm	*W*, mm	*H*, mm
0201 (0525)	0,6	0,3	0,23
0402 (1005)	1,0	0,5	0,35
0603 (1608)	1,55	0,85	0,45
0805 (2012)	2,0	1,25	0,45
1206 (3216)	3,2	1,6	0,55
1210 (3225)	3,2	2,5	0,55
2010 (5025)	5,0	2,5	0,6
2512 (6332)	6,3	3,15	0,6

Oznaka: xxyy

xx – duljina u stotinkama inča

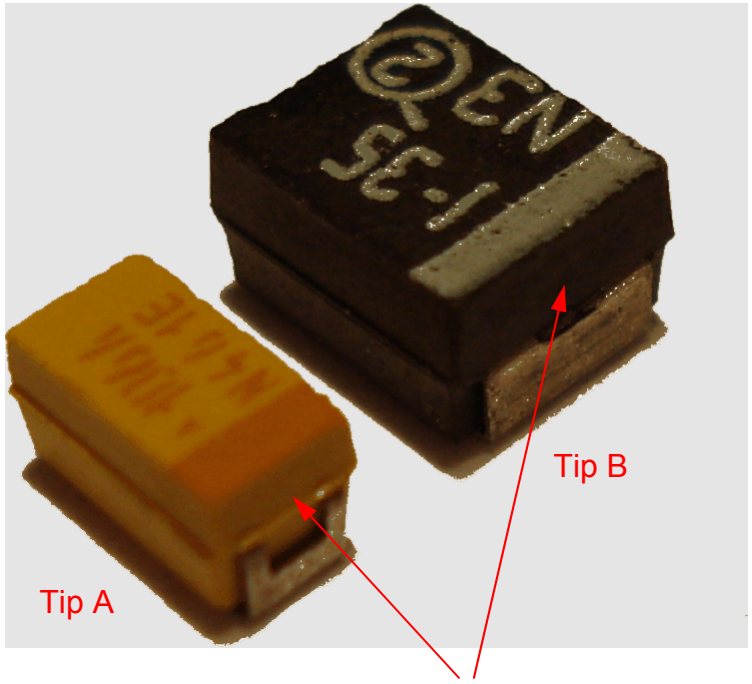
yy – širina u stotinkama inča

1206: L = 0,12″

W = 0,06″

SMD komponente - pasivne

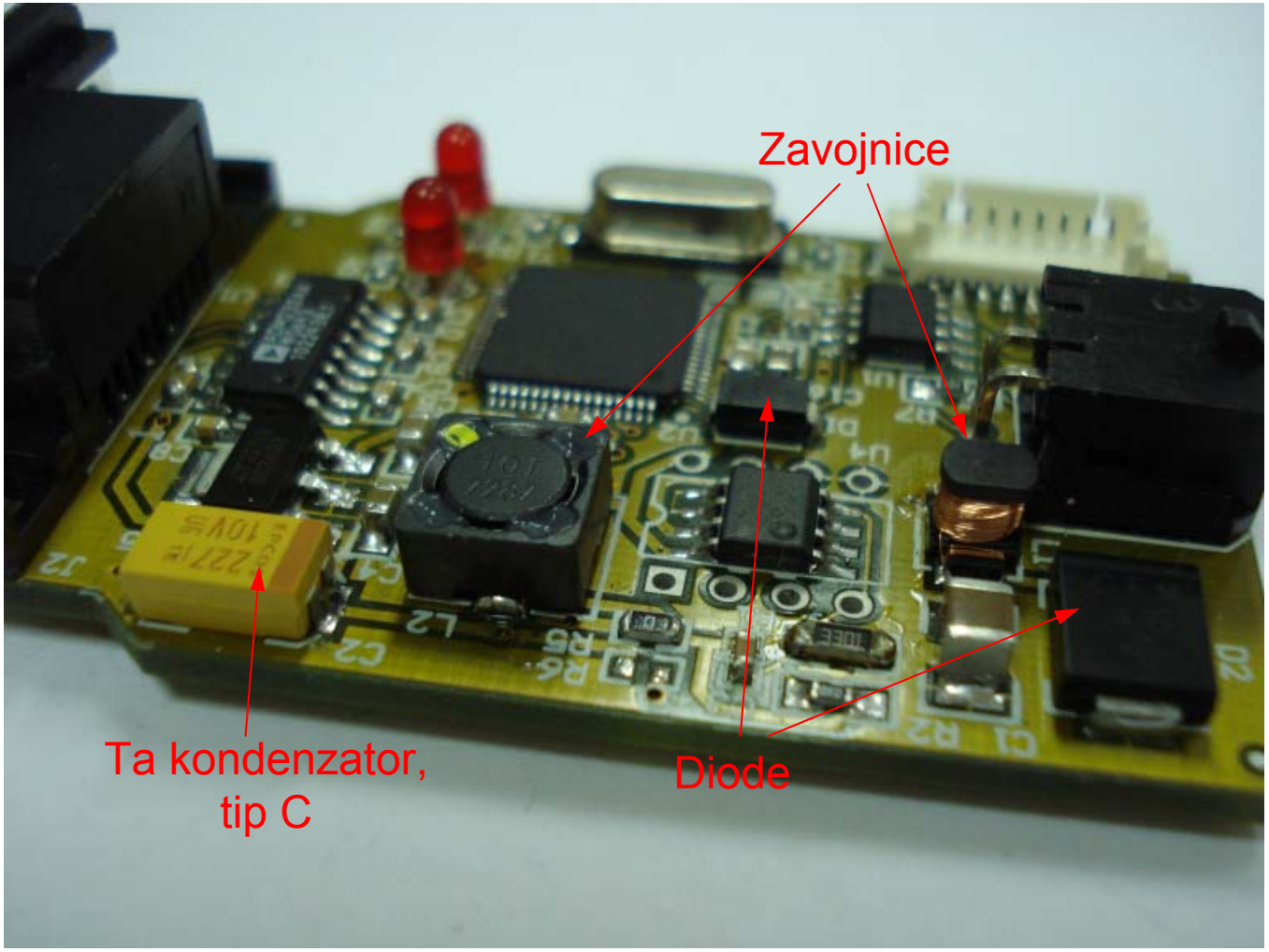
- Elektrolitski kondenzator (tantal)



Tip	*L*, mm	*W*, mm	*H*, mm
A	3,2	1,6	1,6
B	3,5	2,8	1,9
C	6,0	3,2	2,2
D	7,3	4,3	2,4
E	7,3	4,3	4,1

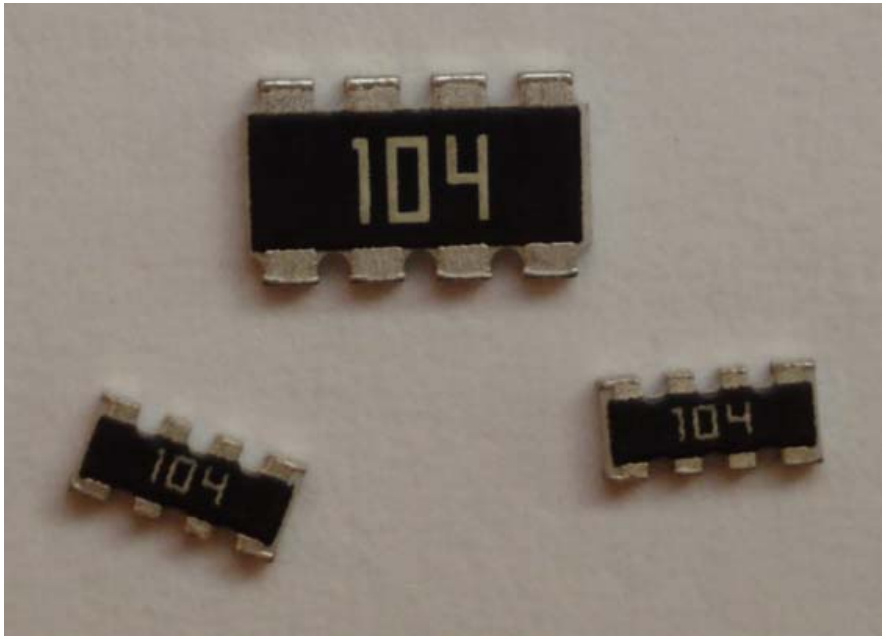
oznaka se uvijek odnosi na “+” priključak

SMD komponente – primjeri kućišta



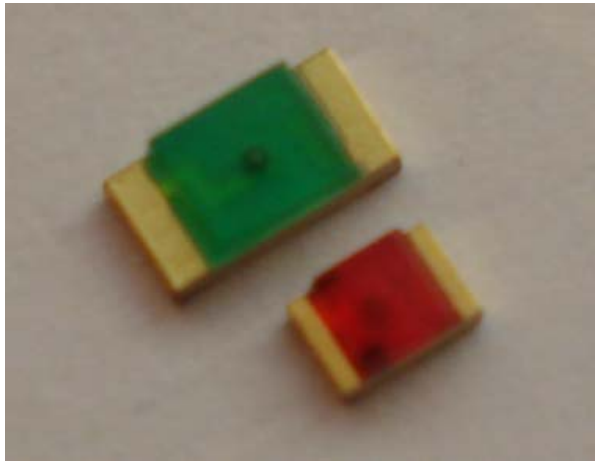
SMD komponente – primjeri kućišta

elektrolitski aluminijski kondenzator

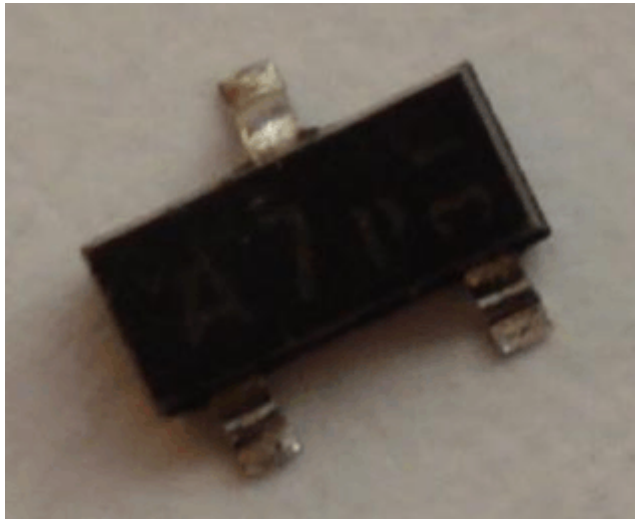


otpornička polja, 1206 i 0805

SMD komponente - aktivne



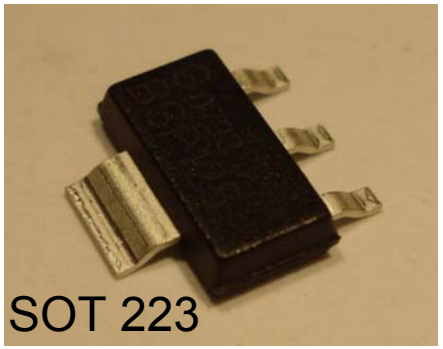
LED, 1206 i 0805

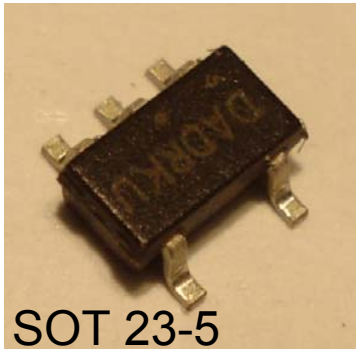


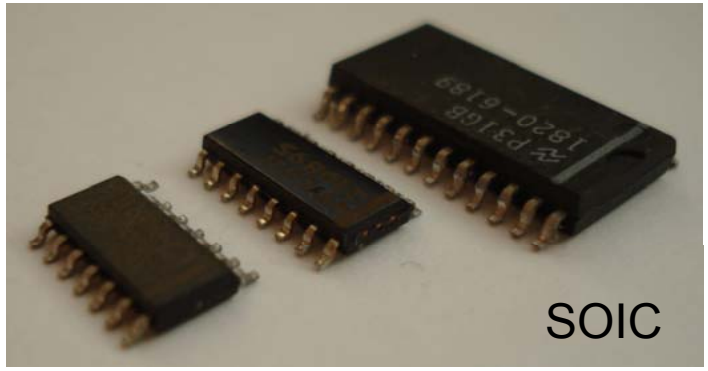
Tranzistor, SOT 23

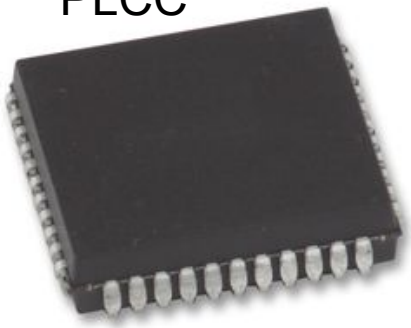
Dioda, SOD 80C
(MLL34, MELF)

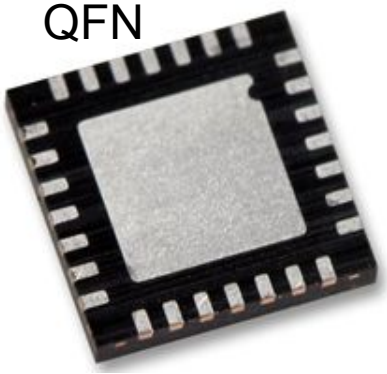
SMD komponente – integrirani sklopovi

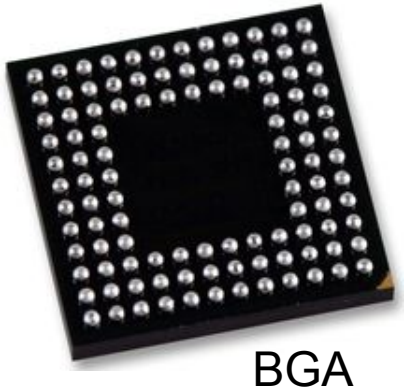




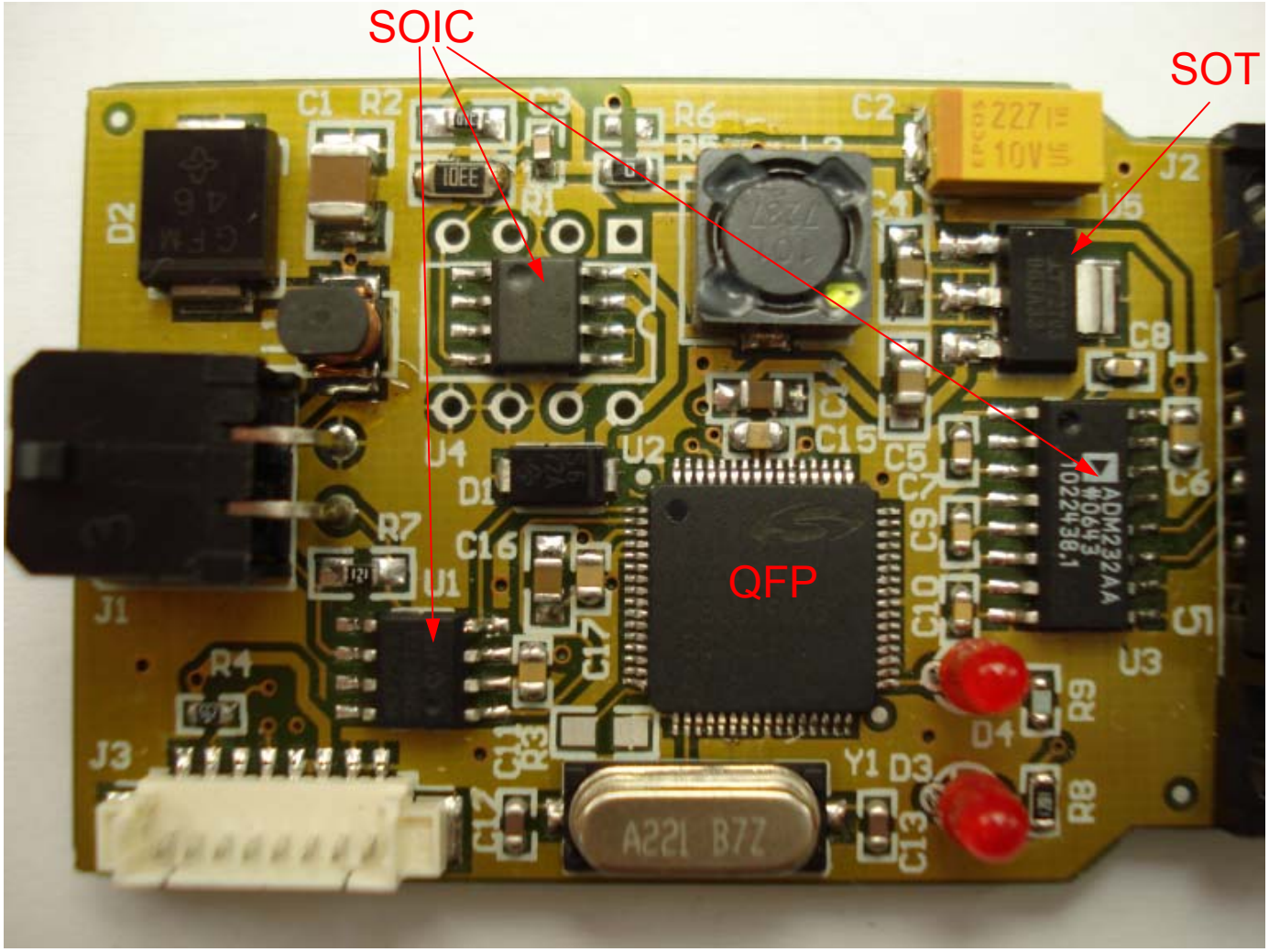




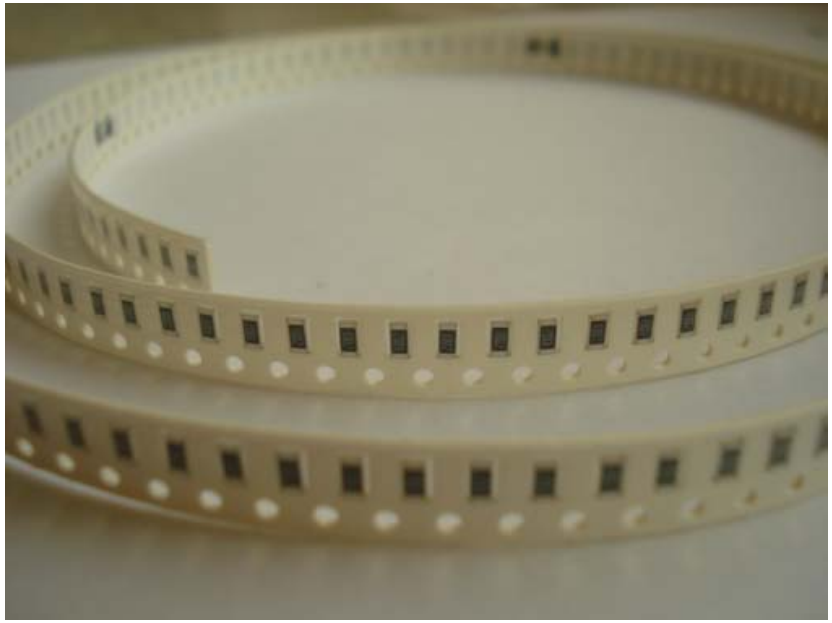




SMD komponente – integrirani sklopovi

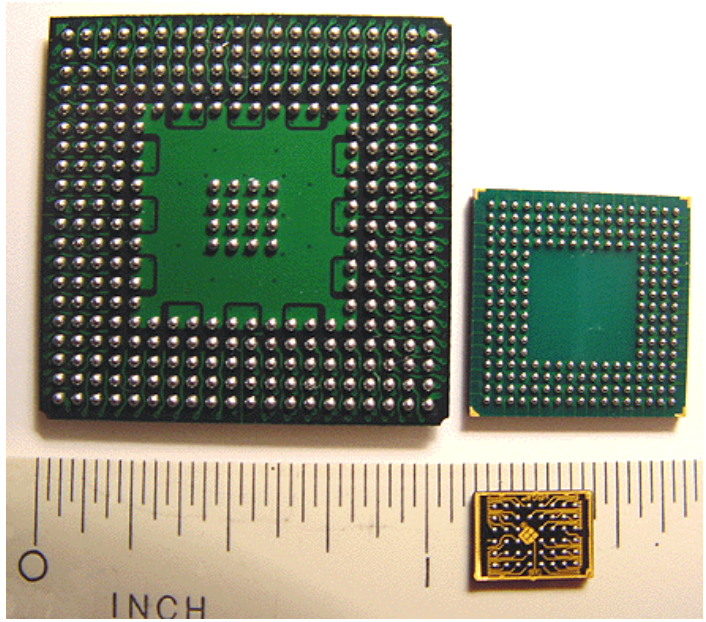


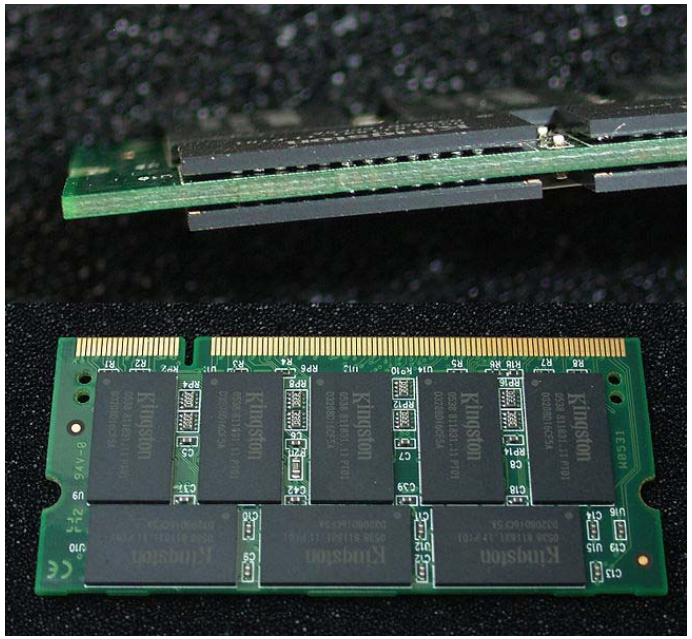
SMD komponente - pakiranja



BGA (*ball grid array*) kućišta

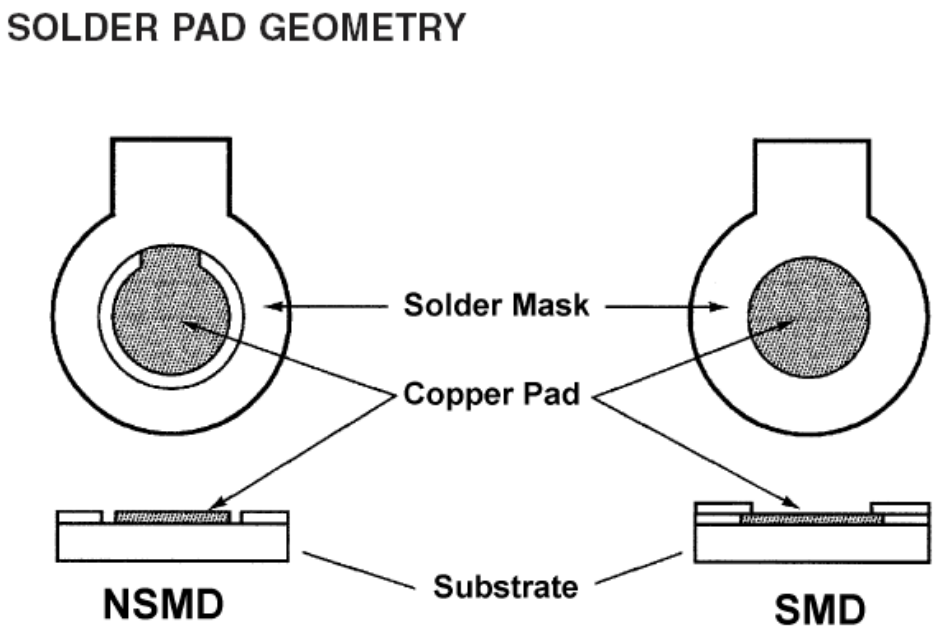
- prednosti BGA tehnologije:
  - kraće električne veze → manji parazitni induktiviteti, veća brzina rada
  - manja mehanička osjetljivost izvoda u odnosu na ostala SMD kućišta
  - veći razmak među lemnim točkama
  - bolja termička svojstva





BGA (*ball grid array*) kućišta

- tipovi lemnih točaka:
  - *Non-Solder Mask Defined pads* (NSMD)
  - *Solder Mask Defined pads* (SMD)



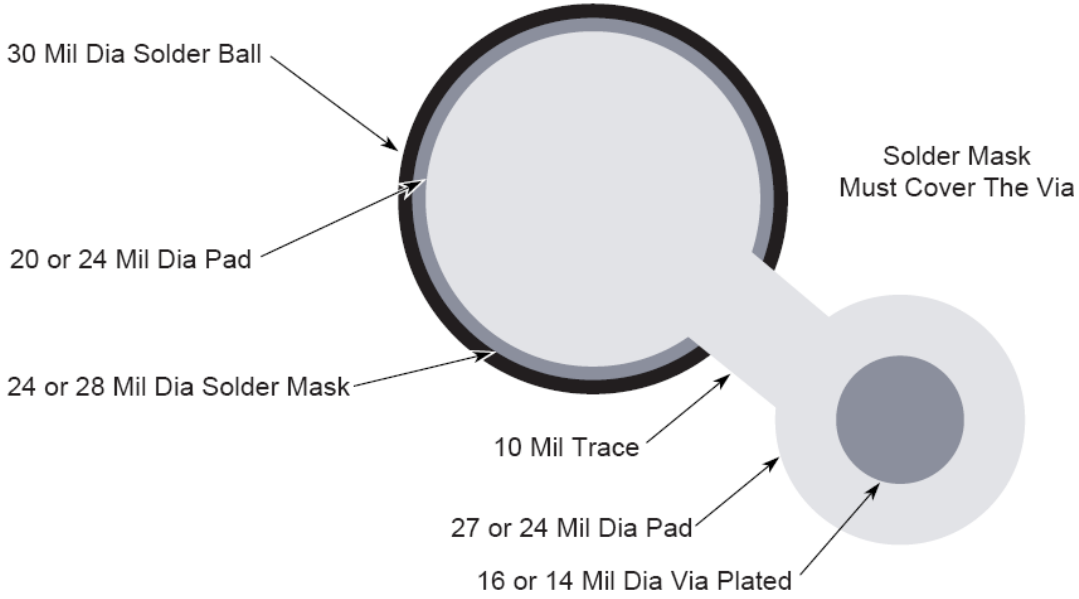
- NSMD - veličina lemne točke ovisi o procesu jetkanja bakra (manje precizan od foto-postupka nanošenja stop laka)

- prednost: više mjesta za vodove

- nedostatak: brži zamor materijala prilikom temperaturnih promjena (veća mogućnost pucanja lemova)

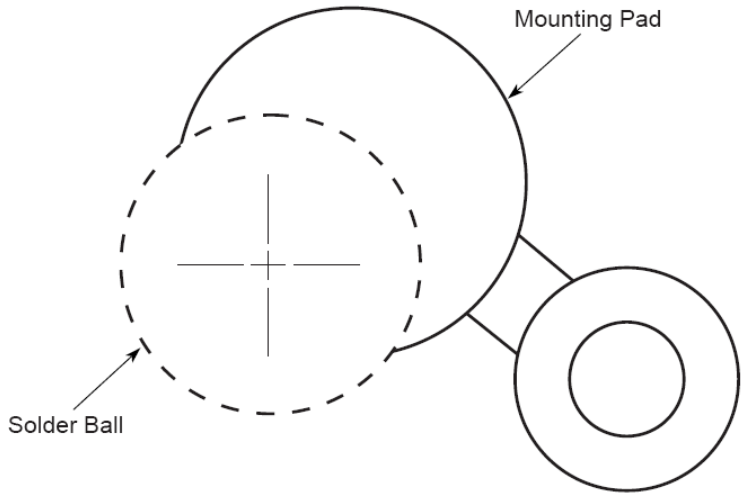
BGA (*ball grid array*) kućišta

- projektiranje vodljivih likova:
  - koriste se višeslojne tiskane pločice
  - izolirati prospojnu rupu (*via*) od SMD lemnog mjesta (inače će lem biti povučen u prospojnu rupu)



Lemljenje BGA kućišta

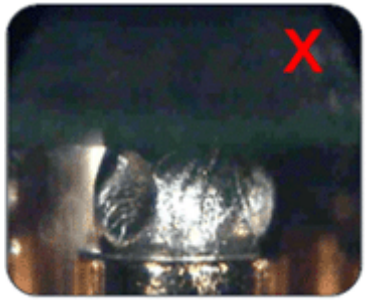
- BGA kućišta imaju svojstvo samocentriranja
- prilikom postavljanja kuglice BGA kućišta moraju prekrivati barem 50% površine lemnih mjesta
- uslijed površinske napetosti, tijekom vršne vrijednosti temperature, komponenta će biti povučena u središte lemne točke



Ispitivanje lemnih spojeva kod BGA kućišta

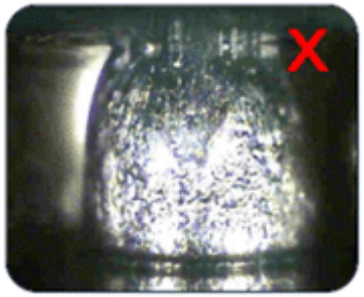
- optičko ispitivanje
  - uz pomoć optičkih prizmi pomoću kojih je moguće vrlo precizno vidjeti većinu spojeva

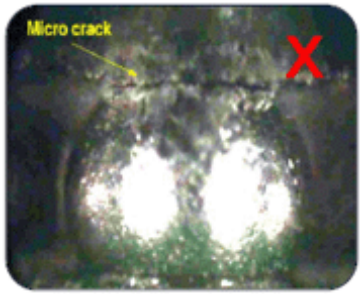
Nezalemljena kuglica



Nepotpun spoj

Izduženi spoj



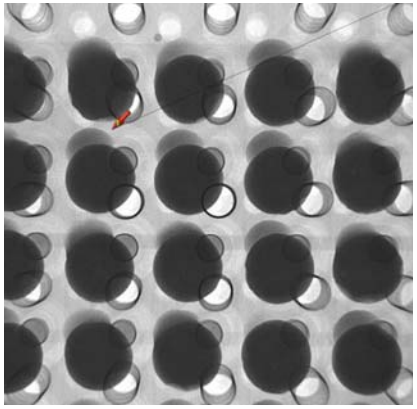


Mikropukotina

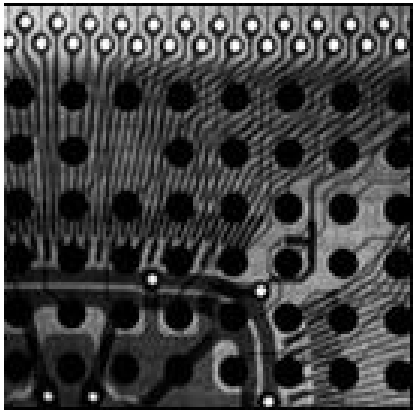
Ispitivanje lemnih spojeva kod BGA kućišta

- rendgensko ispitivanje:
  - općeprihvaćena metoda kontrole kvalitete
  - bolja od optičkog ispitivanja

Kratki spojevi (zatamnjena mjesta - kratki spojevi među kuglicama)

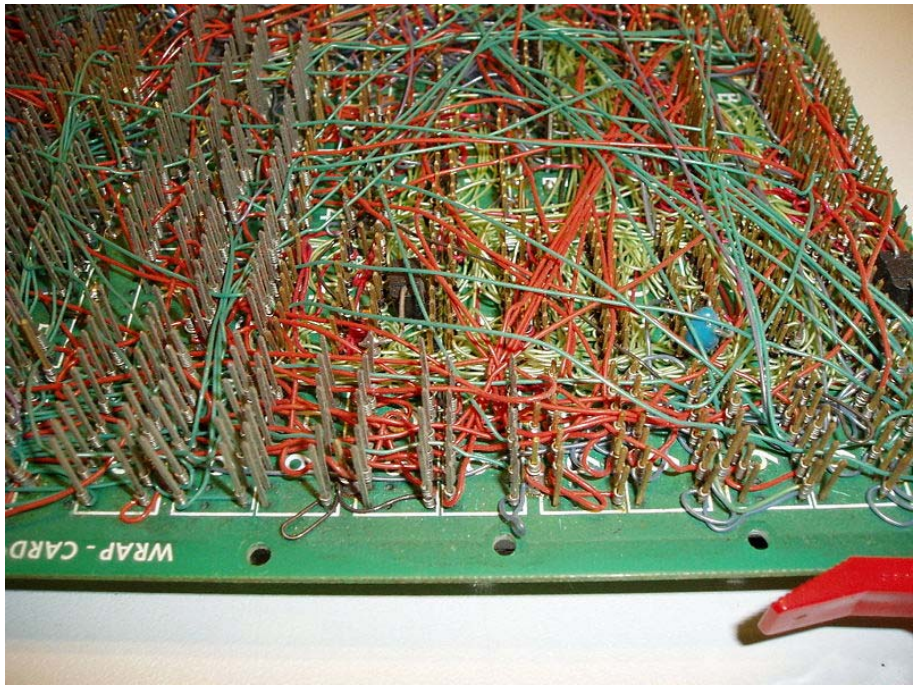


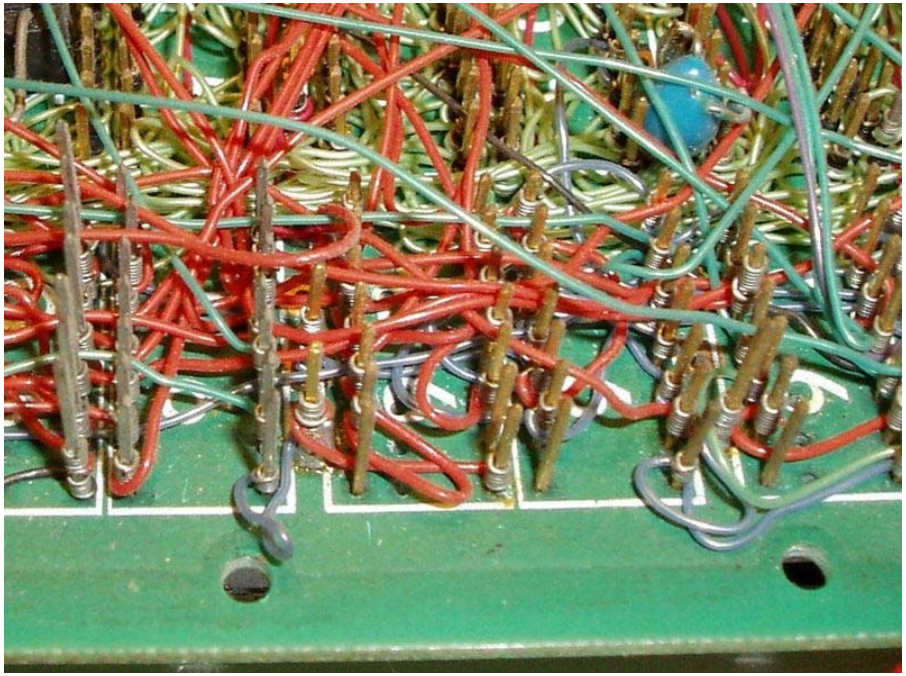
Pomak čipa (loše pozicioniranje čipa)



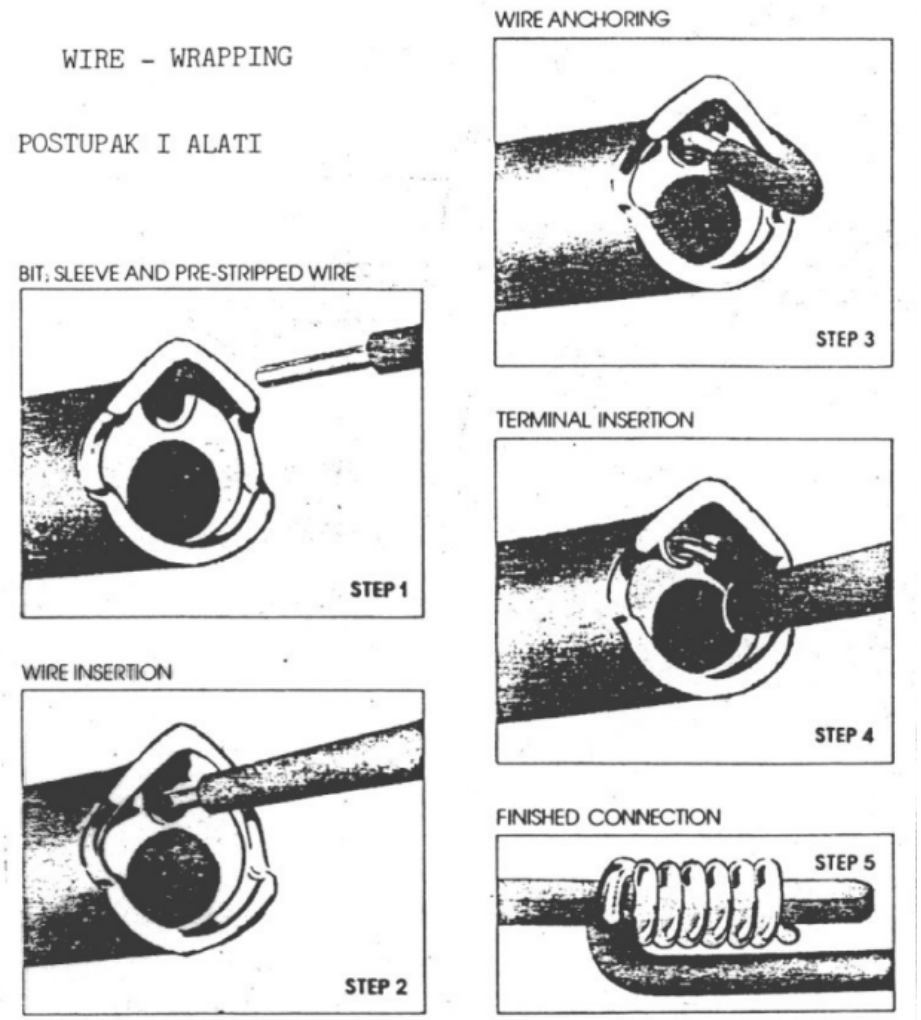
Nedostatak spoja

Tehnika omčastog povezivanja

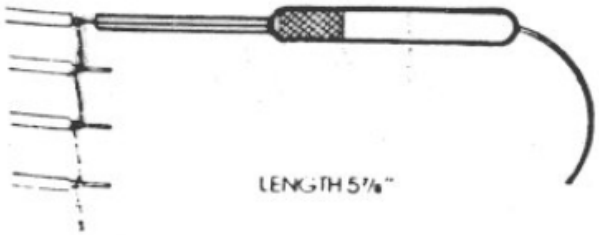


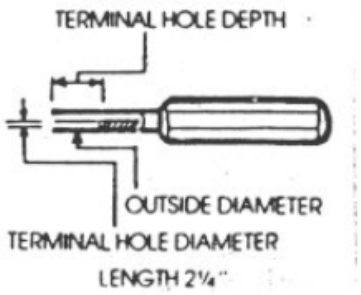


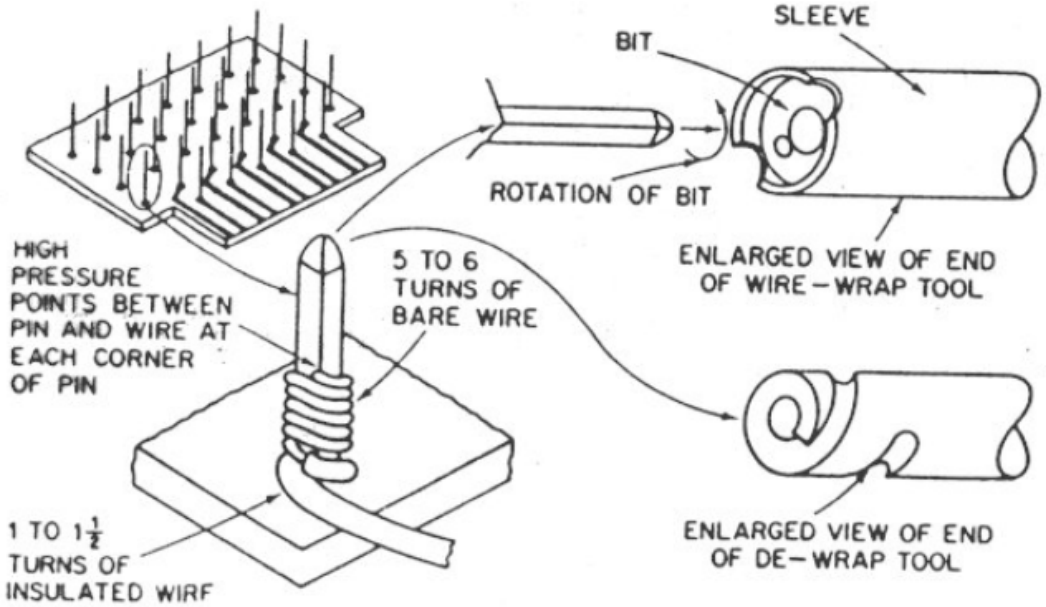
Tehnika omčastog povezivanja



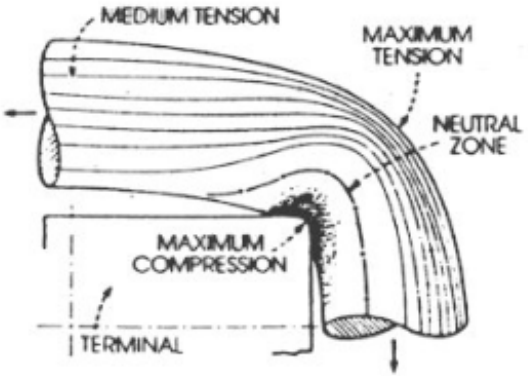
Tehnika omčastog povezivanja

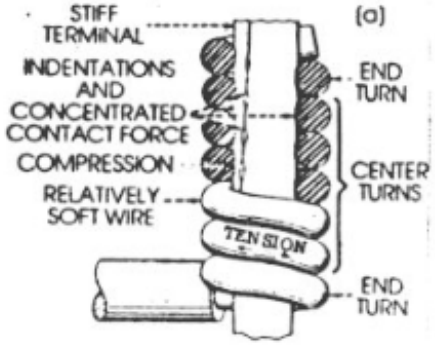




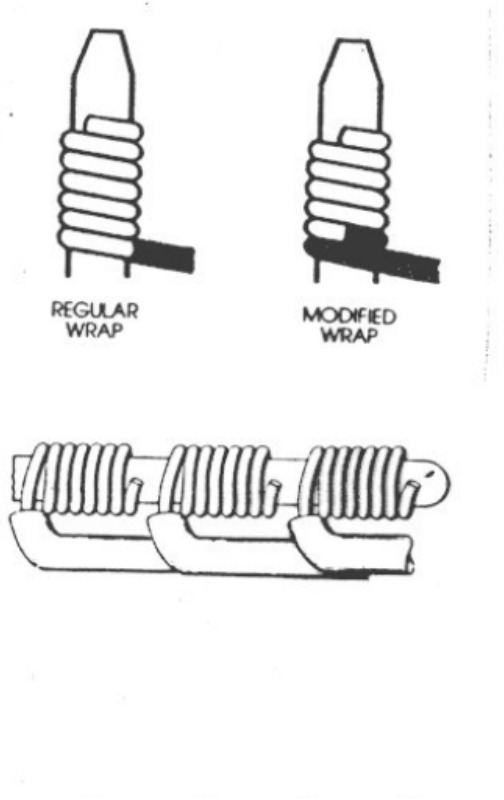


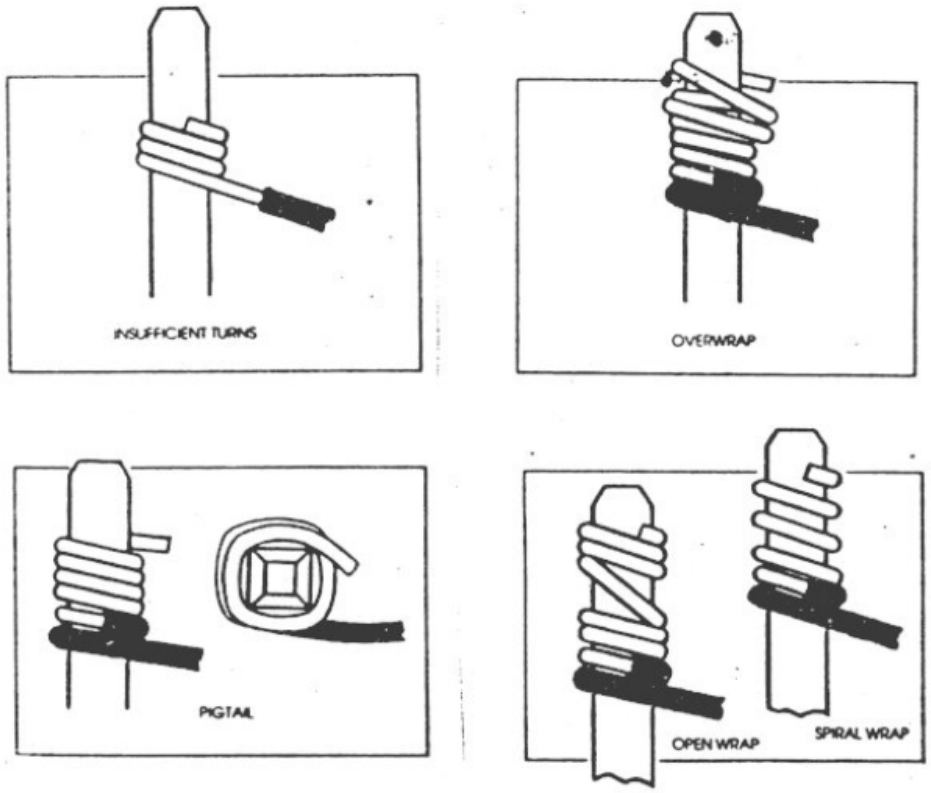
Tehnika omčastog povezivanja





Tehnika omčastog povezivanja





dobro

loše

Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

4. Tehničko dokumentiranje i upute za izradu programa

M. Cifrek, H. Džapo

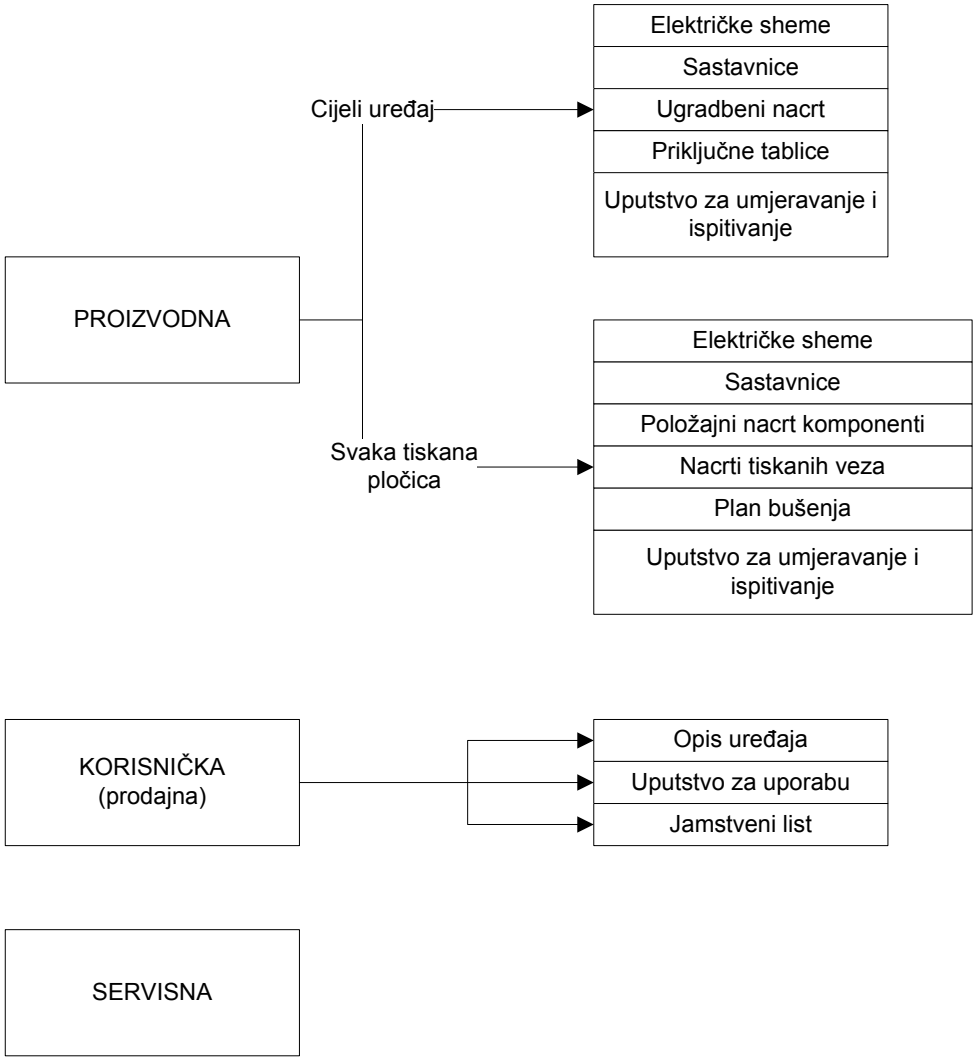
ak.god. 2011/2012

Računalom podržano projektiranje elektroničkih uređaja

Tehnička dokumentacija

- temelj razvoja, proizvodnje, prodaje, primjene i održavanja uređaja
- sveobuhvatna, točna, dosljedna i pregledna
- dokumentacija se može podijeliti na:
  - proizvodnu
  - korisničku (prodajnu)
  - servisnu
- mora sadržavati naziv i zaštitni znak proizvođača te vrstu i naziv uređaja

Struktura tehničke dokumentacije uređaja



Proizvodna dokumentacija

- omogućuje proizvodnju i daljnji razvoj elektroničkog uređaja
- ne postoje opća pravila ili zakonske obveze za njezinu izradu
- za cijeli uređaj:
  - **električke sheme** (način električkog povezivanja dijelova sustava)
  - **sastavnica**:
    - tablični opis elektroničkih, elektromehaničkih, elektrotermičkih i mehaničkih komponenata, na temelju kojeg se nabavljaju komponente
  - **ugradbeni nacrt** (položaj tiskanih pločica i drugih sastavnih dijelova uređaja u kućištu)
    - tehnički crtež otvorenog kućišta uređaja u perspektivi, nacrti prednje i stražnje ploče
  - **priključne tablice** (opis ožičenja između dijelova uređaja)
  - **uputstvo za ispitivanje i umjeravanje** (svojstva ispitnih signala i način njihova priključivanja, svojstva odzivnih signala na ispitnim točkama, način i redoslijed umjeravanja)

Proizvodna dokumentacija

- za svaku pojedinu tiskanu pločicu proizvodna dokumentacija mora sadržavati:
  - **električku shemu**
  - **sastavnicu**
  - **položajni nacrt komponenata** (tlocrt smještaja komponenata na tiskanoj pločici)
  - **nacrt tiskanih veza** svih vodljivih slojeva (maske za realizaciju vodljivih likova)
  - **plan bušenja** (s ucrtanim oznakama konačnih promjera rupa na tiskanoj pločici)
  - **uputstva za ispitivanje i umjeravanje**

Korisnička dokumentacija

- opisuje uređaj i način njegove primjene
- treba biti prilagođena i korisnicima bez stručnog znanja i iskustva (osim u posebnim slučajevima)
- sastoji se od:
  - opisa uređaja
  - uputstva za uporabu
  - jamstvenog lista
- opis uređaja:
  - okvirni uvid u namjenu i način rada uređaja:
    - područje primjene i namjena uređaja
    - opis dodatnih dijelova uređaja
    - blok shema
    - zajamčeni i informativni tehnički podaci

Korisnička dokumentacija

- tehnički podaci
  - **zajamčeni** tehnički podaci - brojevno iskazane i obvezujuće temeljne električke, mehaničke i toplinske značajke uređaja:
    - npr. mjerna nesigurnost, ulazni otpor i sl.
    - opis izvora napajanja (baterija, akumulator, elektroenergetska mreža)
    - svi signalni ulazi i izlazi dostupni korisniku (priključci izvedeni na kućište) moraju biti potpuno električki opisani
    - temperaturno područje rada
    - stupanj zaštite kućišta od prodora čestica krutih tvari i tekućine
    - druge značajke ovisne o namjeni uređaja (primjerice otpornost na protresanje i ubrzavanje za prijenosne uređaje).
  - **informativni** tehnički podaci - opisuju posebne značajke (dimenzije, masa, izgled, ergonomičnost) uređaja nebitne za njegov rad, ali često vrlo važne pri izboru uređaja.

Tehnički podaci - radni uvjeti

- raspon radnih temperatura (komponente):
  - komercijalni (COM): 0 – 70 °C
  - industrijski (IND): -40 – 85 °C
  - automobilski (AUT): -40 – 125 °C
  - vojni (MIL): -55 – 125 °C
- vlaga
- utjecaj elektromagnetskih smetnji (*electromagnetic interference*, EMI)
  - elektromagnetska kompatibilnost
- ostalo: atmosferski tlak, mehanički utjecaji (ubrzanje, vibracije, udarci itd.), ionizirajuće zračenje itd.

Tehnički podaci – stupanj zaštite od prodora čvrstih tvari i tekućina

- standardni način označavnja IPXX (IP = *Ingress Protection*)
- npr. IP67, značenje:

IP – Ingress Protection ratings			
First number		**Second number**	
0	0 - No protection (Sometimes X)	0	0 - No protection (Sometimes X)
1	1 - Protected against solid objects up to 50mm³	1	1 - Protection against vertically falling drops of water (e.g. condensation)
2	2 - Protected against solid objects up to 12mm³	2	2 - Protection against direct sprays of water up to 15 degrees from vertical
3	3 - Protected against solid objects up to 2.5mm³	3	3 - Protection against direct sprays of water up to 60 degrees from vertical
4	4 - Protected against solid objects up to 1mm³	4	4 - Protection against water sprayed from all directions - limited ingress permitted
5	5 - Protected against dust, limited ingress (no harmful deposit)	5	5 - Protected against low pressure jets of water from all directions - limited ingress permitted
6	6 - Totally protected against dust	6	6 - Protected against low pressure jets of water, limited ingress permitted (e.g. ship deck)
		7	7 - Protected against the effect of immersion between 15cm and 1m
		8	8 - Protected against long periods of immersion under pressure

Korisnička dokumentacija - uputstva za uporabu

- sadrži sve bitne podatke potrebne za ispravnu i potpunu primjenu uređaja:
  - priprema uređaja
    - priključivanje napajanja, spajanje vanjskih priključaka, zagrijavanje itd.
  - uputstvo za rukovanje
    - način primjene uređaja za ostvarenje njegove namjene
    - sigurnosne mjere: štite korisnika tjelesno, a proizvođača pravno
  - uputstvo za održavanje
  - uputstvo za umjeravanje
    - rijetko je sastavni dio korisničke dokumentacije, češće se isporučuje u sklopu servisne dokumentacije

Korisnička dokumentacija – pravni momenti

- dijelovi korisničke dokumentacije (osobito **tehnički podaci**) smatraju se **ugovornom obvezom** proizvođača potvrđenom **jamstvenim listom**
- uputstvo za uporabu (posebice opis **sigurnosnih mjera**) **pravno štite** proizvođača u slučaju nepravilne primjene uređaja
- *"obrambeni dizajn"* (*defensive design)* – minimizacija rizika
- s gledišta sigurnosti, proizvođač je odgovoran za:
  - pružanje pogrešnih informacija o sigurnosti uređaja
  - stavljanje u promet neispravno proizvedenog uređaja
  - nepostavljanje znakova upozorenja na uređaj
  - nepružanje uputa za sigurno rukovanje uređajem
  - pogreške u samom dizajnu uređaja s gledišta sigurnosti uporabe

Servisna dokumentacija

- koristi se za:
  - redovito održavanje uređaja
  - otklanjanje kvarova
  - dogradnju itd.
- za izradu servisne dokumentacije, kao i za proizvodnu, ne postoje opća pravila ili zakonske obveze
- sadržaj određen namjenom, a najčešće uključuje cjelokupnu korisničku i dijelove proizvodne dokumentacije, te dodatke poput popisa kvarova i preporučenih postupaka za njihovo otklanjanje.

Upute za izradu programa

Program - izrada tehničke dokumentacije elektroničkog uređaja

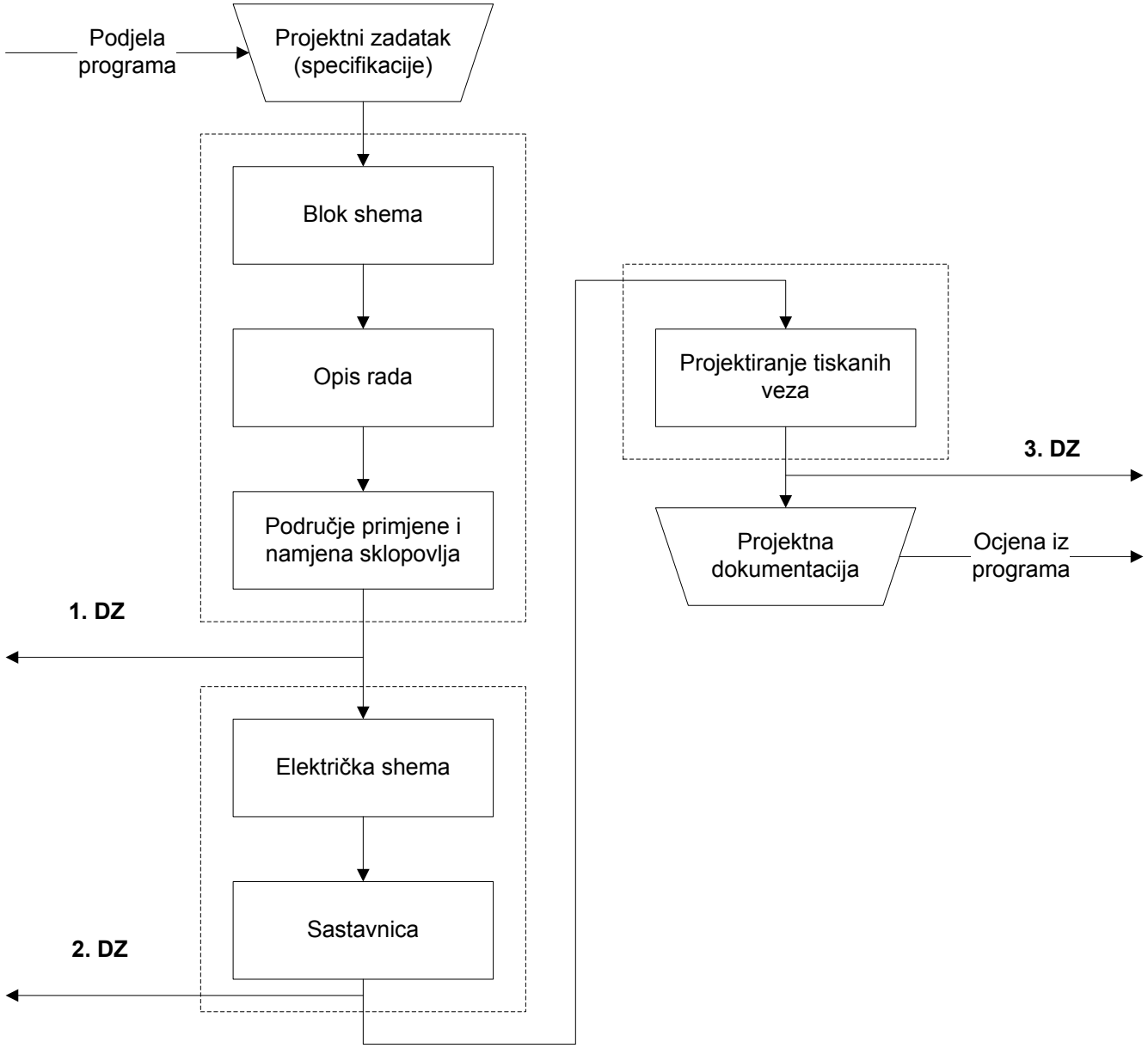
- cilj programa: upoznavanje studenata s cjelokupnim postupkom projektiranja elektroničkog uređaja i izrade tehničke dokumentacije
- program obuhvaća:
  - djelomično projektiranje elektroničkog uređaja:
    - analiza specifikacija, crtanje blok sheme, crtanje električke sheme, projektiranje tiskane pločice
  - izradu djelomične tehničke dokumentacije:
    - područje primjene i namjena sklopovlja, opis rada, tehnički podaci, uputstvo za uporabu, sastavnica, položajni nacrt komponenata, nacrt tiskanih veza, plan bušenja
- tehnička dokumentacija uređaja **nije** "činovnički" posao! (usko povezana s procesom projektiranja)

Zadaci za program

- programi će biti zadani nepotpunim električkim shemama, koje će potrebno nadopuniti prema naputcima
- dobiveni zadaci predstavljat će **korisničku specifikaciju**
- zašto “djelomično” projektiranje?
  - izrađuje se samo tiskana pločica (funkcijski ključni **dio** cjelokupnog elektroničkog uređaja) i prateća dokumentacija
  - neće se projektirati npr. izvori napajanja, zaštite, prednje ploče, kućišta za smještaj tiskanih pločice i dr. što čini kompletni uređaj
- zašto “djelomična” tehnička dokumentacija?
  - jer se ne radi kompletna proizvodna, korisnička i servisna dokumentacija, već samo najbitniji dijelovi
  - u realnim primjenama rade se i dijelovi dokumentacije koji neće biti obuhvaćeni programom

Poglavlja projektne dokumentacije

- program obuhvaća sljedeća poglavlja:
  1. Područje primjene i namjena sklopovlja,
  2. Blok shema,
  3. Električka shema,
  4. Opis rada,
  5. Tehnički podaci,
  6. Uputstvo za uporabu,
  7. Sastavnica,
  8. Položajni nacrt komponenata,
  9. Nacrt(i) tiskanih veza i
  10. Plan bušenja.
- raspored rada na programu kroz semestar:


Podjela programa
Projektni zadatak (specifikacije)
Blok shema
Opis rada
Područje primjene i namjena sklopovlja
1. DZ
Električka shema
Sastavnica
2. DZ
Projektiranje tiskanih veza
3. DZ
Projektna dokumentacija
Ocjena iz programa

Upute za izradu programa

- program se predaje:
  - u tiskanom obliku - **cjelokupna** dokumentacija u formi seminara (*.doc predložak nalazi se na web-u)
  - u elektroničkom obliku - **sve izvorne datoteke** postupka projektiranja (električke sheme (*.SchDoc), biblioteke komponenata (*.SchLib, *.PcbLib, *.IntLib), tiskane veze (*.PcbDoc))
- kod formatiranja tekstualne dokumentacije pridržavati se pravila iz predloška

Upute za izradu programa

- za svaki dio programa bit će prezentirane neke najbitnije opće napomene
- posebno će se detaljno razraditi:
  - projektiranje električke sheme
  - projektiranje tiskane pločice
- **<u>konzultacije</u>**:
  - četvrtak 11 h

0. Opće napomene

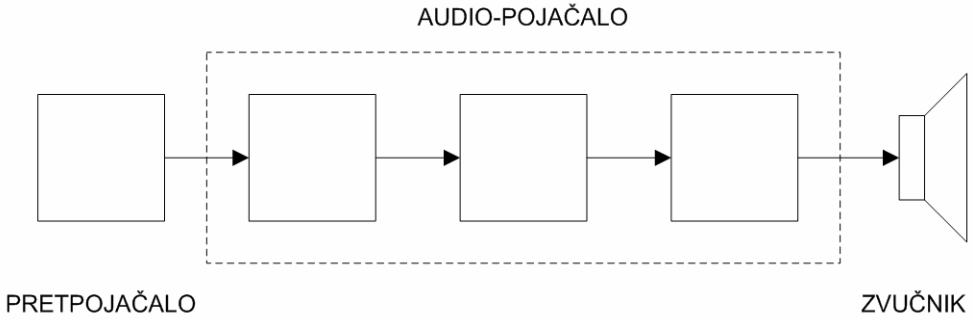
- na web stranicama predmeta nalazi se predložak (Word dokument) za izradu dokumentacije
- naslovna stranica: ime, prezime, JMBAG, naziv programa, datum predaje
- sadržaj
- svako poglavlje započeti na novoj stranici

1. Područje primjene i namjena sklopovlja

- kratki i jezgroviti tehnički opis – čemu uređaj služi i gdje se primjenjuje (nekoliko rečenica)
- koristiti tehnički način izražavanja
- ne navoditi tehničke podatke (osim eventualno najbitnijih elementarnih)
- koristiti se hrvatskim književnim jezikom u svim dijelovima projekta, u najvećoj mogućoj mjeri:
  - Izbjegavati npr. buffer, latch, trigger, pin, tastatura itd.
  - hrvatski termini: odvojno pojačalo, zaporni sklop, okidni signal, izvod, tipkovnica itd.
  - kada ne postoji odgovarajući hrvatski prijevod engleske termine navoditi u *italicu*

2. Blok shema

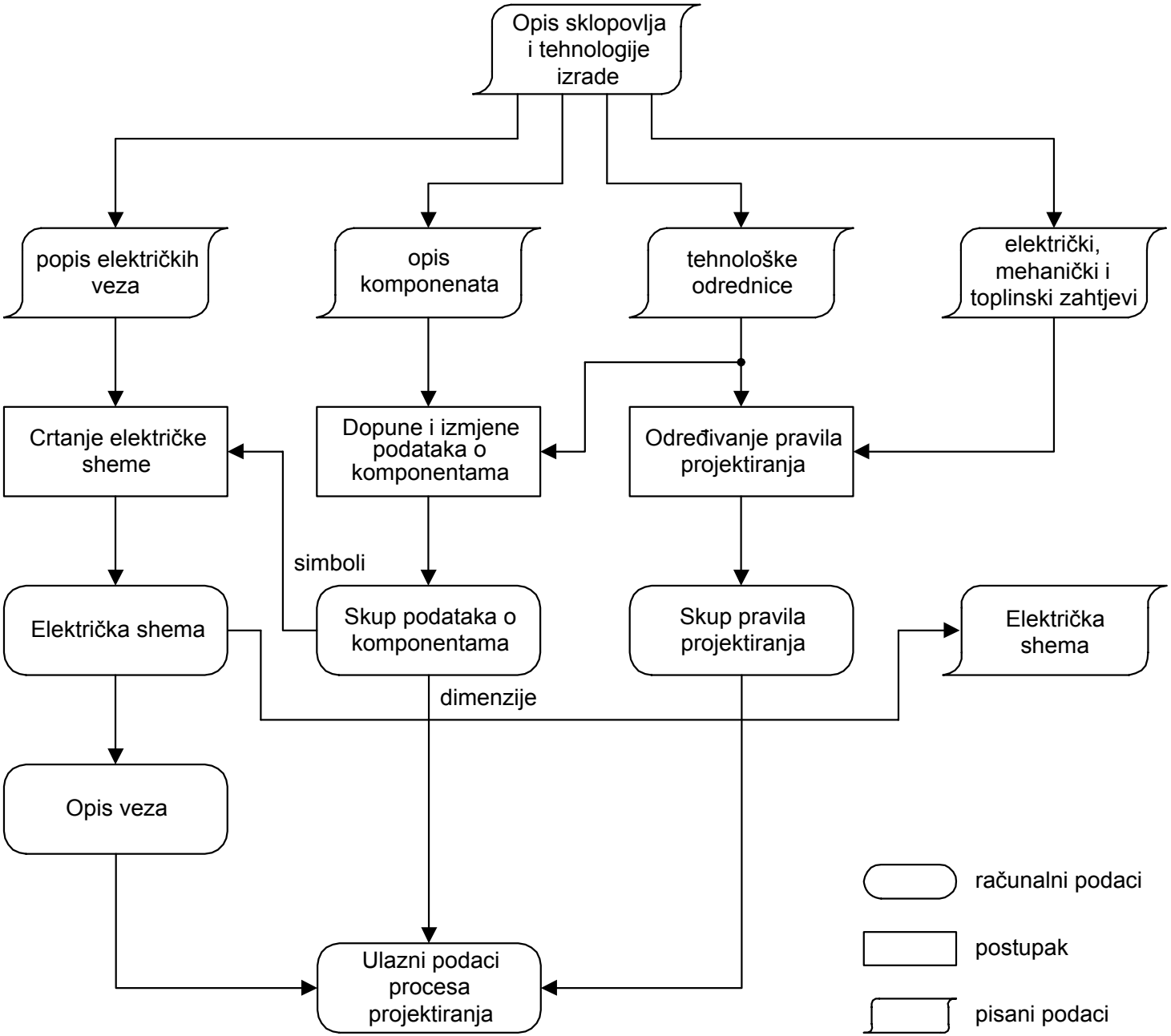
- kompleksnost pojedinog bloka ovisi o strukturi cjelokupnog sklopovlja
- blokova ne smije biti previše, niti premalo
- docrtati blokove koji nisu dio samog električkog sustava, a važni su za obavljanje njegove funkcije (crtkano označiti što je dio zadane električke sheme):



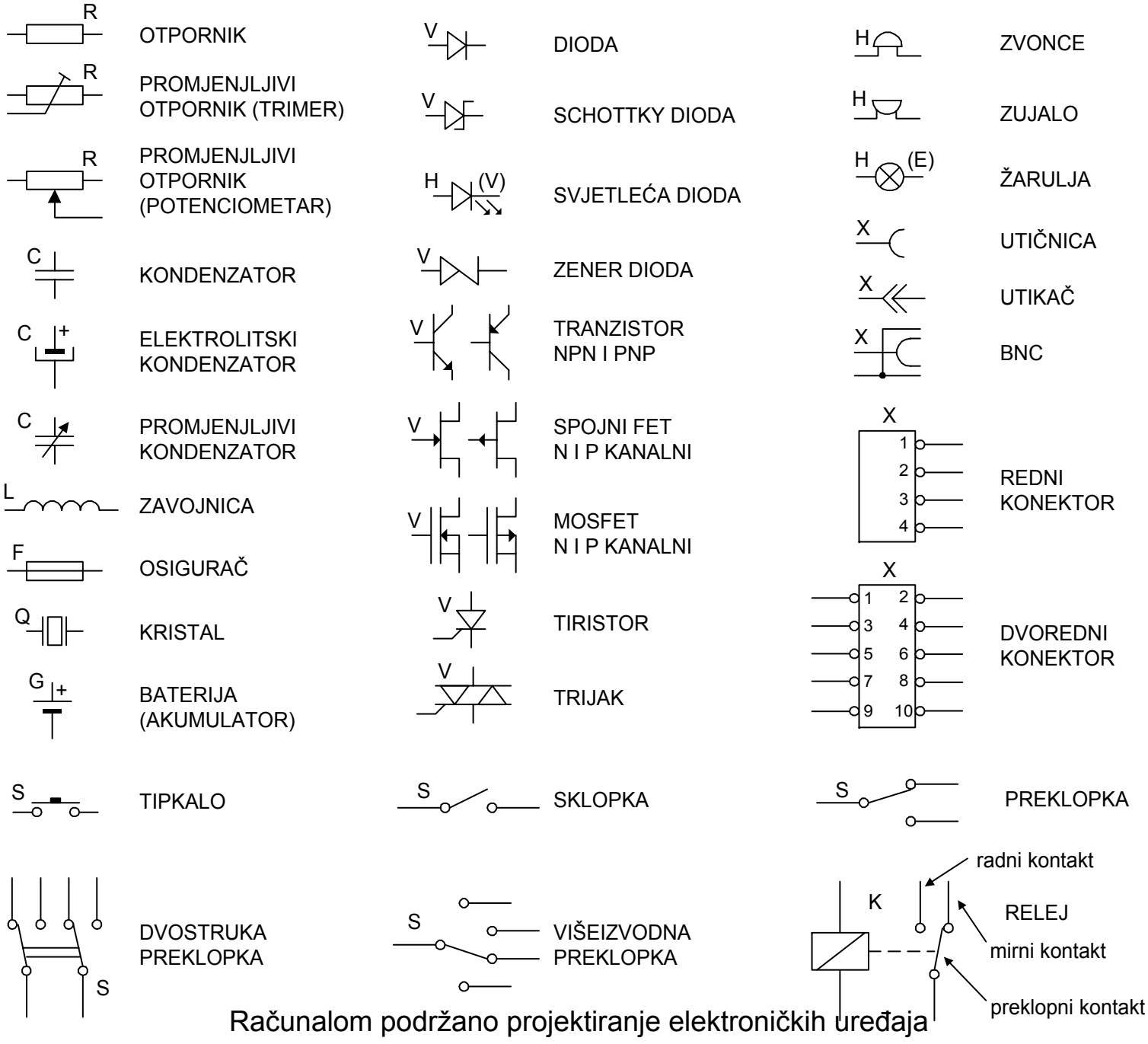
- **funkcijska blok shema** (služi korisnicima i serviserima) – nazivlje blokova treba oslikavati njihovu **funkciju!** (blok se ne može nazvati bilo kako (npr. “ulazni stupanj”, “međustupanj” i sl.), već prema funkciji (npr. “ulazni stupanj za prilagodbu signala”)

3. Električka shema

- sklop je zadan <u>nepotpunom</u> električkom shemom (iako će najveći dio sheme bit zadan)
- za cjelovitost električke sheme potrebno je voditi računa o tome da se sklop fizički realizira na tiskanoj pločici
- električku shemu bit će potrebno nadopuniti s npr.:
  - blokadnim kondenzatorima
  - elektrotermičkim komponenatama (hladila – na komponentama koje disipiraju snagu)
  - elektromehaničkim komponentama (konektori, ispite točke, podnožja i sl.)
  - obavezno dovesti **napajanje** na tiskanu pločicu
- označavanje komponenata treba provesti u skladu s **IEC preporukama**


Opis sklopovlja i tehnologije izrade
popis električkih veza
opis komponenata
tehnološke odrednice
električki, mehanički i toplinski zahtjevi
Crtanje električke sheme
Dopune i izmjene podataka o komponentama
Određivanje pravila projektiranja
simboli
Električka shema
Skup podataka o komponentama
Skup pravila projektiranja
Električka shema
dimenzije
Opis veza
Ulazni podaci procesa projektiranja
računalni podaci
postupak
pisani podaci

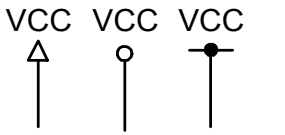
OZNAKA	VRSTA KOMPONENATA
A	analogni integrirani sklopovi
B	pretvornici neelektričnih veličina u električne
C	kondenzatori i promjenljivi kondenzatori
D	digitalni integrirani sklopovi
E	komponente za rasvjetu i grijanje
F	komponente za zaštitu (osigurači, VDR-otpornici)
G	izvori (generatori)
H	komponente za svjetlosnu i zvučnu signalizaciju (svjetleće diode, zvučnici, zvonca, zujala)
K	releji
L	induktivne komponente, zavojnice
M	motori
P	mjerni uređaji (instrumenti, brojila, satovi)
Q	kristali i kristalni filtri
R	otpornici, promjenljivi otpornici (trimeri i potenciometri), otporničke mreže
S	sklopke, preklopke, tipkala
T	transformatori
U	modulatori
V	diskretne poluvodičke komponente
W	prijenosni putovi (žice, sabirnice, antene, kratkospojnici)
X	priključne komponente (konektori, utičnice, stezaljke, ispitni šiljci)


R
OTPORNIK
R
PROMJENJLJIVI OTPORNIK (TRIMER)
R
PROMJENJLJIVI OTPORNIK (POTENCIOMETAR)
C
KONDENZATOR
C +
ELEKTROLITSKI KONDENZATOR
C
PROMJENJLJIVI KONDENZATOR
L
ZAVOJNICA
F
OSIGURAČ
Q
KRISTAL
G +
BATERIJA (AKUMULATOR)
S
TIPKALO
S
S
DVOSTRUKA PREKLOPKA
V
DIODA
V
SCHOTTKY DIODA
H (V)
SVJETLEĆA DIODA
V
ZENER DIODA
V
TRANZISTOR NPN I PNP
V
SPOJNI FET N I P KANALNI
V
MOSFET N I P KANALNI
V
TIRISTOR
V
TRIJAK
S
SKLOPKA
S
VIŠEIZVODNA PREKLOPKA
H
ZVONCE
H
ZUJALO
H (E)
ŽARULJA
X
UTIČNICA
X
UTIKAČ
X
BNC
X
1 2 3 4
REDNI KONEKTOR
X
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
DVOREDNI KONEKTOR
S
PREKLOPKA
radni kontakt
K
RELEJ
mirni kontakt
preklopni kontakt

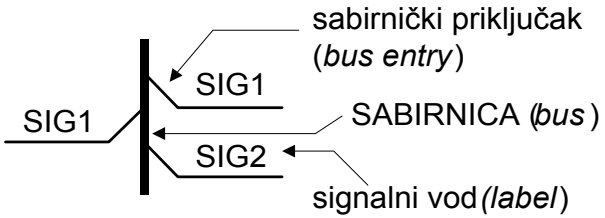
Posebni simboli u električkim shemama

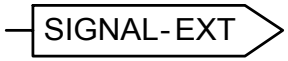
VOD NAPAJANJA REFERENTNOG POTENCIJALA (MASA)

VOD UZEMLJENJA



VOD NAPAJANJA

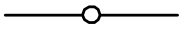




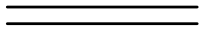
SIGNALNI PRILAZ (*module port*)

SIGNALNI VOD (*label*)

NERAZRJEŠIVI SPOJ



RAZRJEŠIVI SPOJ



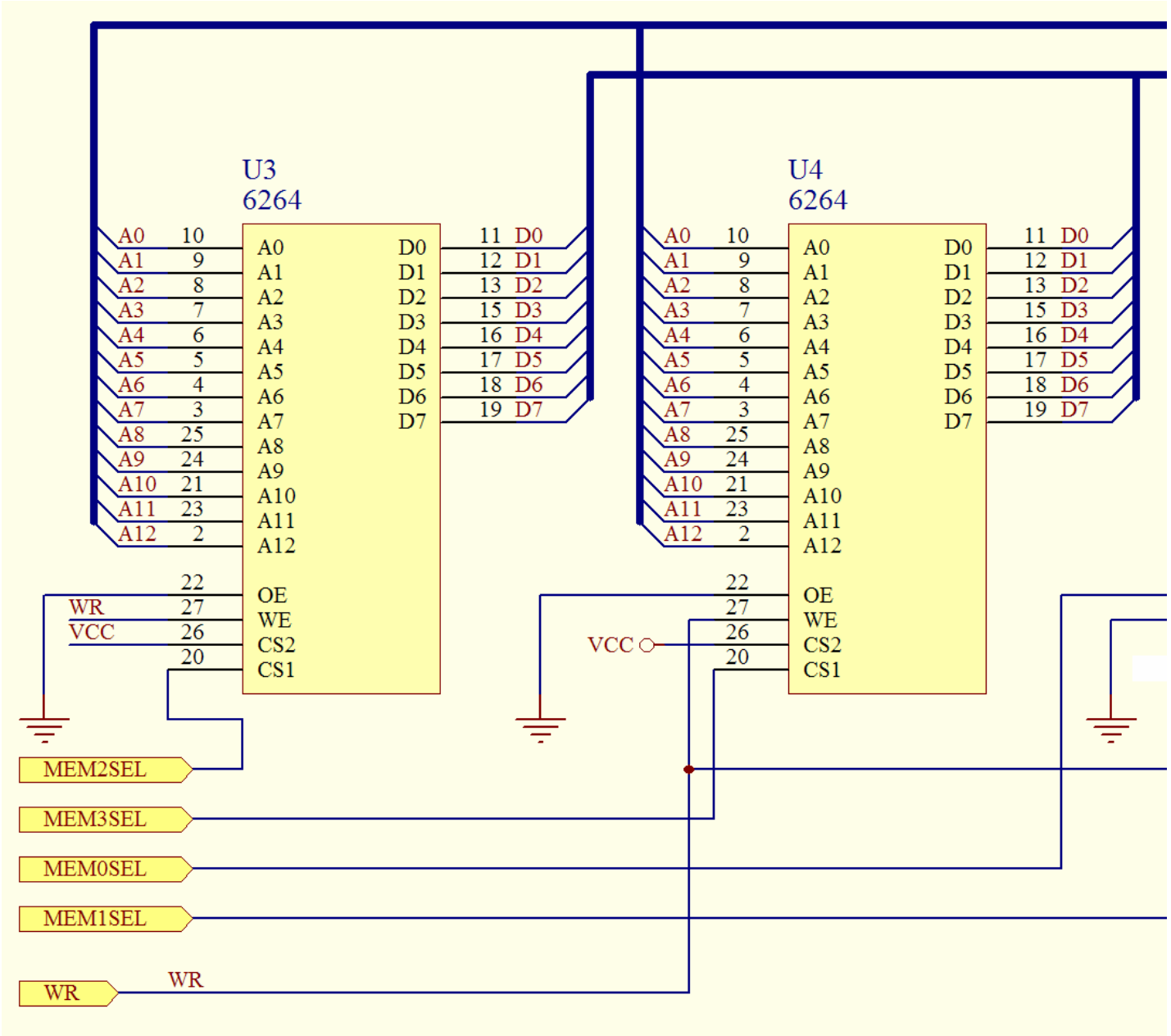
MEHANIČKI SPOJ

ELEKTROMAGNETSKI SPOJ

Električka shema

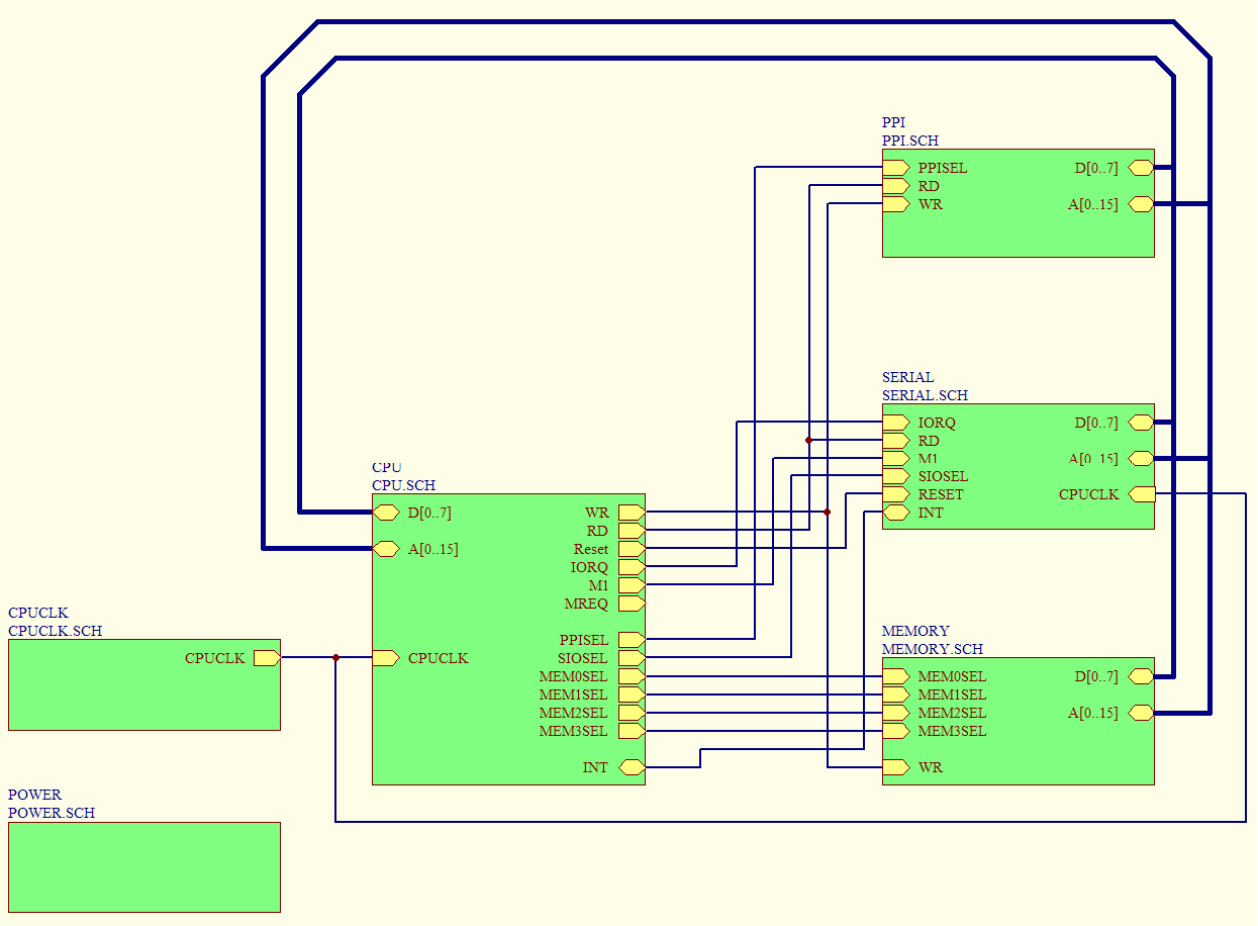
- električka shema mora biti **pregledna** i razumljiva na prvi pogled
- izbjegavati pretjerano dugačke signalne vodove i nepotrebna križanja među njima
- posebni simboli koji povećavaju preglednost električke sheme:
  - imenski povezane mreže (*net labels*)
  - mreže napajanja i uzemljenja (*power ports*)
  - logički grupirane skupine signalnih vodova (sabirnice) (*bus*)
  - ulazni/izlazni signali s električke sheme (*ports*)

Povezivanje komponenata na električkoj shemi

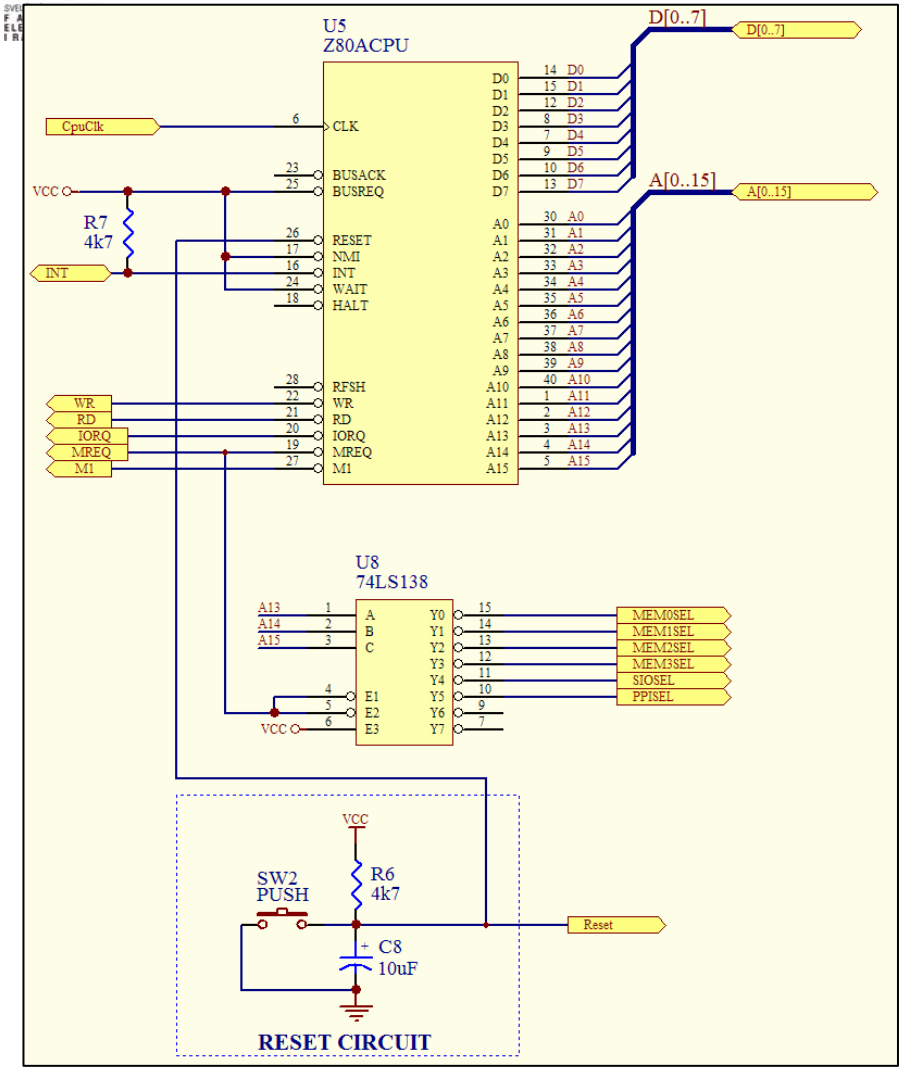


Hijerarhijske električke sheme

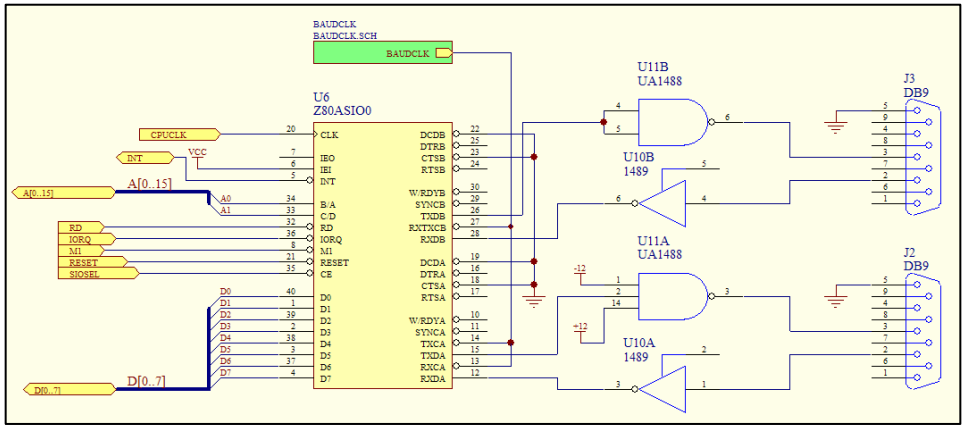
- povećanje preglednosti električke sheme podjelom na manje logičke cjeline



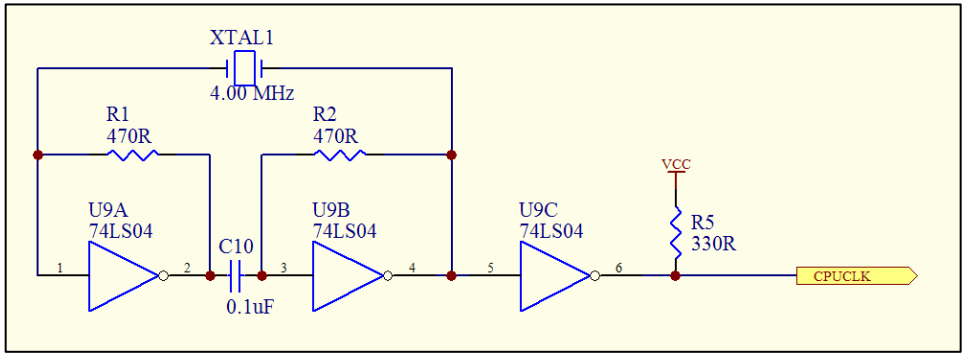
cjelokupna hijerarhija



CPU.sch



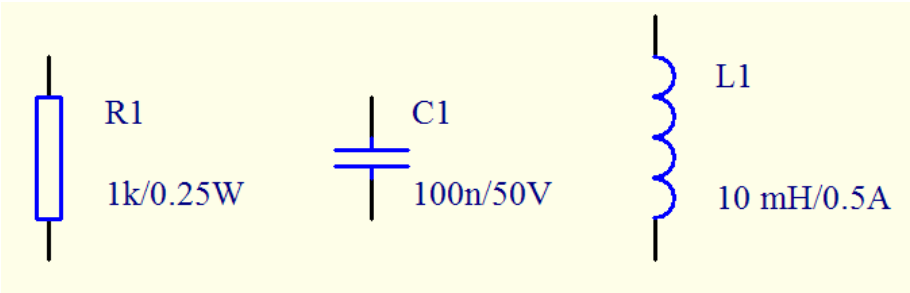
Serial.sch



CPUCLK.sch

Označavanje komponenata

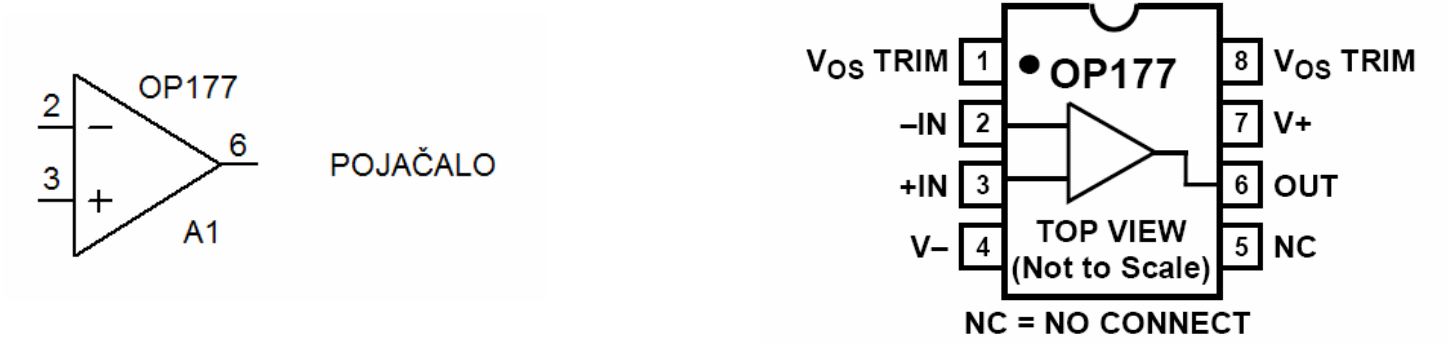
- navesti oznaku komponente (*Designator*) i nazivnu/svojstvenu vrijednost (*Comment*)
- primjeri označavanja pasivnih komponenata:

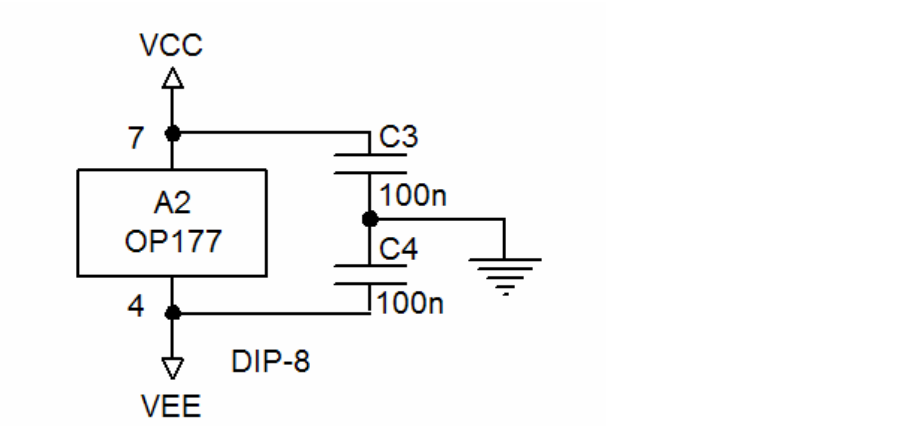


- za otpornike vrijedi:
  - umjesto 10 Ω, 1 kΩ, 2.7 kΩ, 10 MΩ na shemi se piše 10R (ili samo 10), 1k, 2k7 i 10M
- za kondenzatore vrijedi:
  - umjesto 10 pF, 100 nF, 10 μF na shemi se piše 10p, 100n i 10u
- svojstvena veličina navodi se ako je bitna (npr. nazivna snaga ne navodi se za 0.25 W-tne otpornike, ali se za elektrolitske kondenzatore obavezno navodi najveći radni napon)

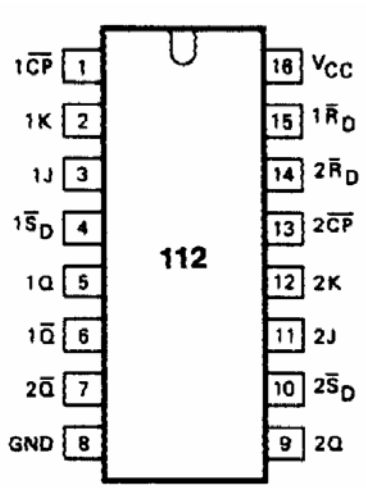
Crtanje izvoda napajanja analognih i digitalnih sklopova

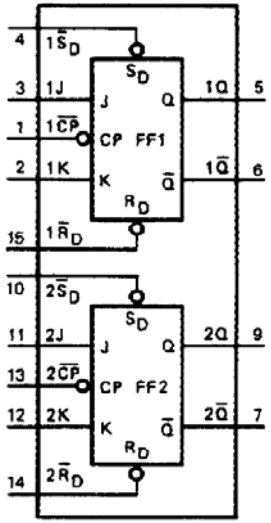
- izvodi napajanja analognih i digitalnih sklopova često se ne crtaju radi preglednosti *(hidden pins)*

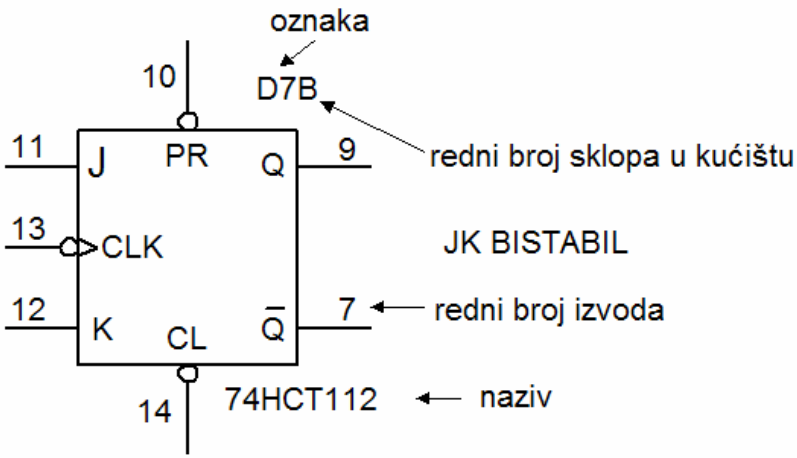




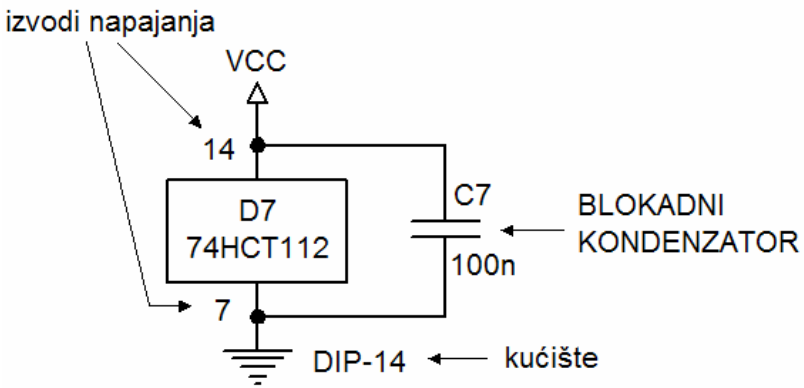
Multipart komponente







- *multipart* komponente – dvije ili više samostalnih komponenata smještenih u istom kućištu



Neiskorišteni izvodi komponenata

- pravilo: svi izvodi komponenata moraju biti vidljivi na električkoj shemi! (uključivo i izvodi koji se ne koriste za ostvarenje električke funkcionalnost sklopa)
- što s neiskorištenim izvodima komponenata?
  - ulazni izvodi – spojiti izravno na neku od mreža napajanja (VCC, VDD, GND) ili korištenjem zaključnog otpornika (neiskorišteni ulazi moraju se spojiti na čvrsti potencijal)
  - izlazni izvodi – ostaju nespojeni

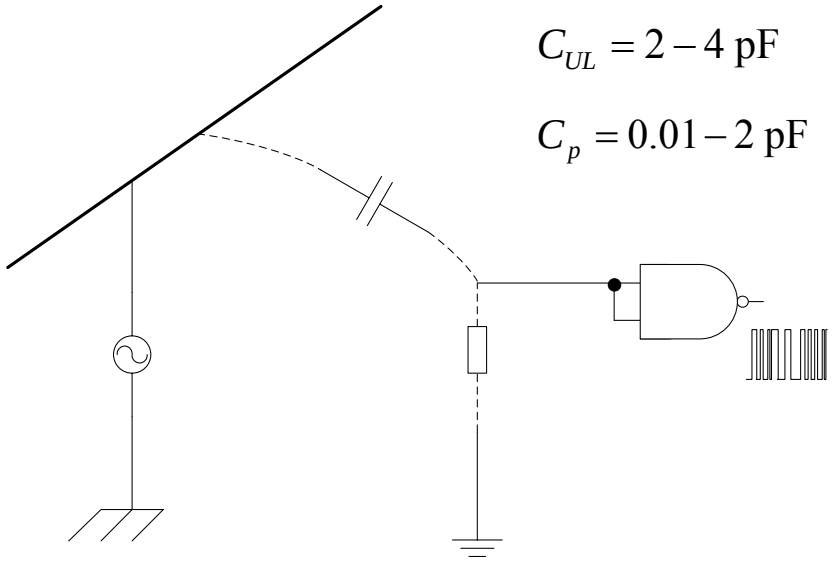
Zaključenje neiskorištenih ulaza - primjer

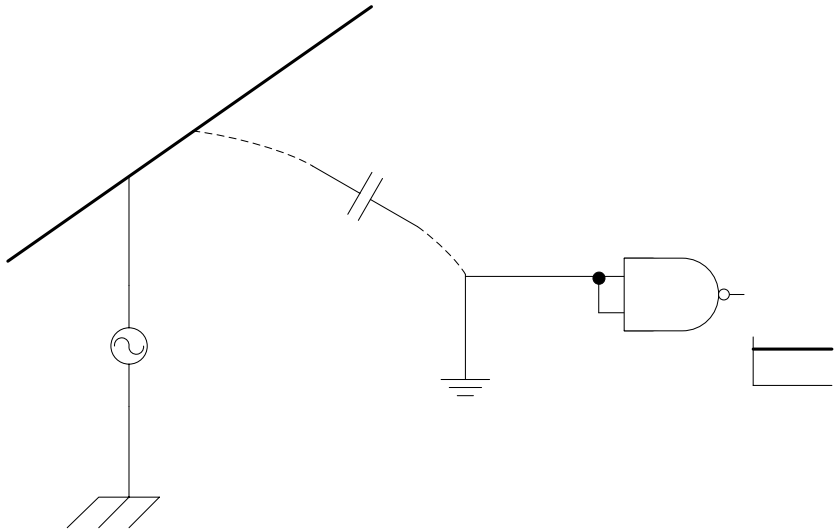
$$Z_{UL} = R_{UL} \parallel C_{UL}$$

$$R_{UL} \sim 100\ \mathrm{M\Omega}$$

$$C_{UL} = 2 - 4\ \mathrm{pF}$$

$$C_p = 0.01 - 2\ \mathrm{pF}$$



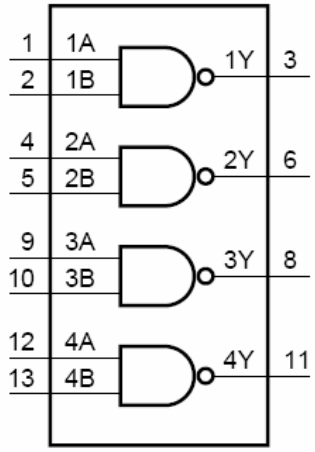


neispravno

ispravno

Neiskorišteni izvodi komponenata

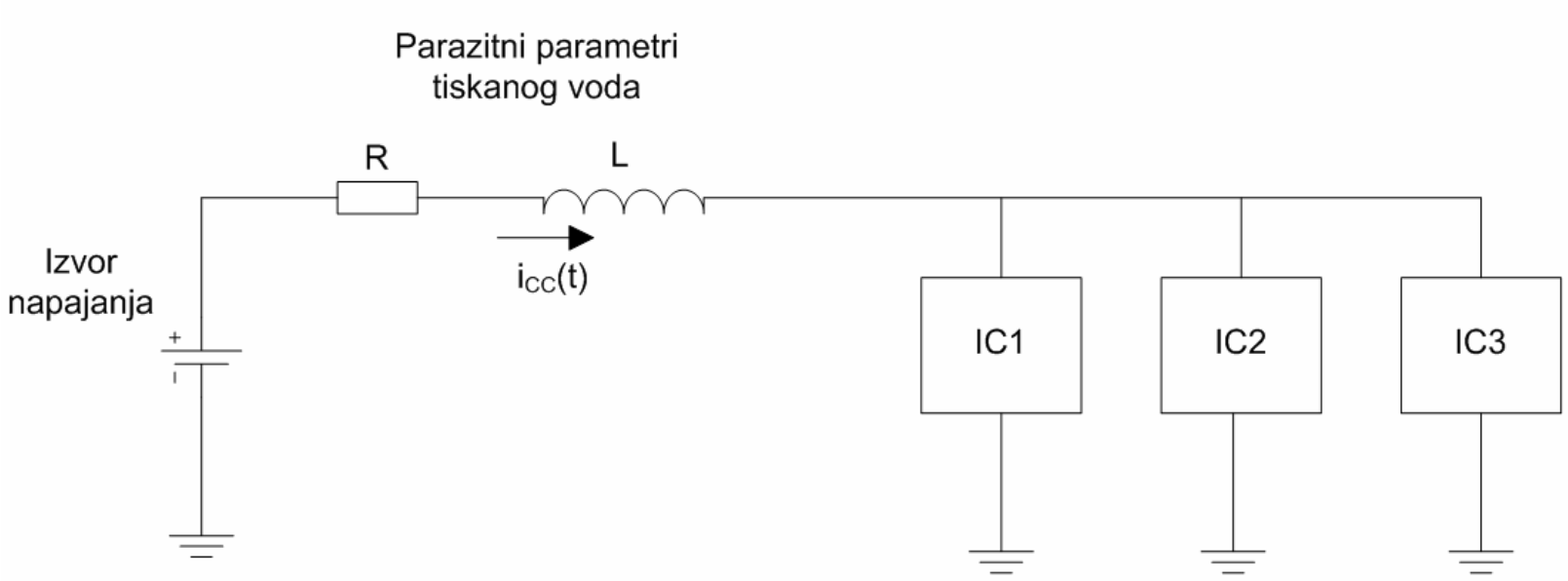
- *floating input pins* ERC *error* (ERC – *electrical rule check*)
- primjer: na električkoj shemi koriste se samo vrata {1A,1B} i {3A,3B}; logička vrata {2A,2B} i {4A,4B} također treba prikazati i eksplicitno spojiti ulaze na definirani potencijal
- nezaključeni ulazi ponašaju se kao *antene* za prijem smetnji iz okoline (poglavito za kapacitivno spregnute smetnje)
- problemi: izlaz logičkog sklopa ponaša se kao nekontrolirani “oscilator”!
- oscilacije mogu čak i uništiti osjetljive CMOS integrirane sklopove!



74HC00

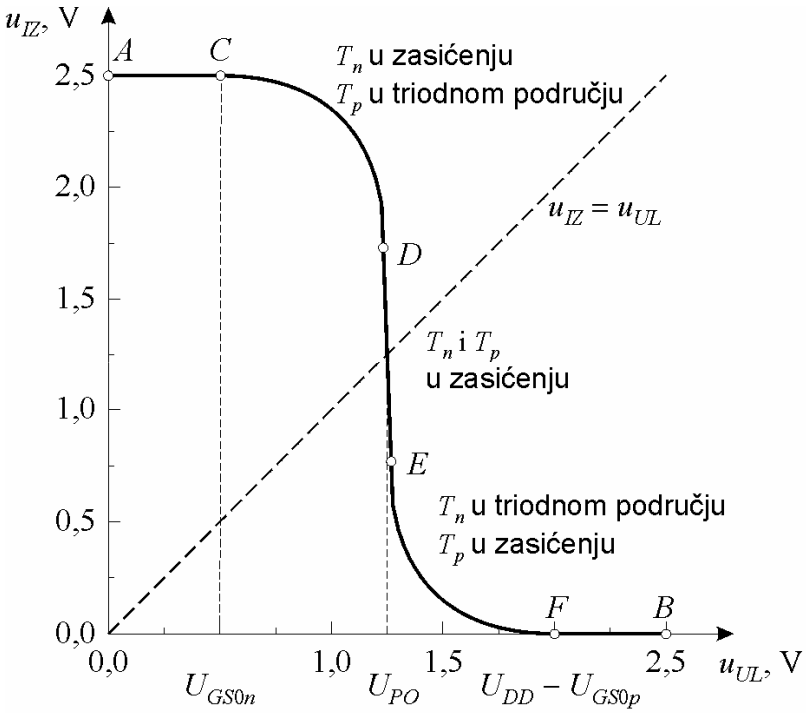
Blokadni kondenzatori

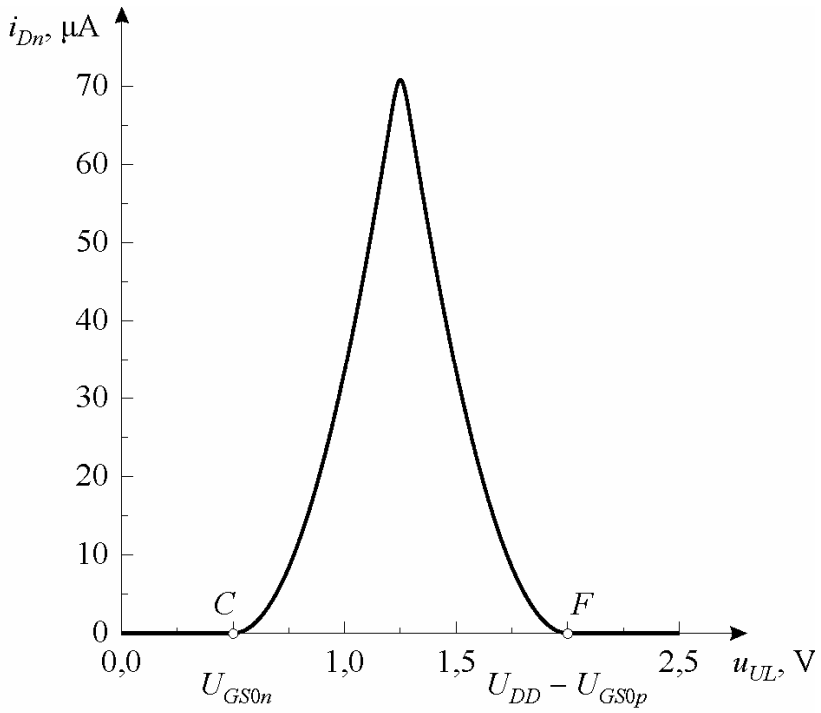
- zašto blokadni kondenzatori?
- vodljivi likovi na tiskanoj pločici *nisu idealni vodiči*:
  - konačni otpor, induktivitet i kapacitet prema masi



Blokadni kondenzatori

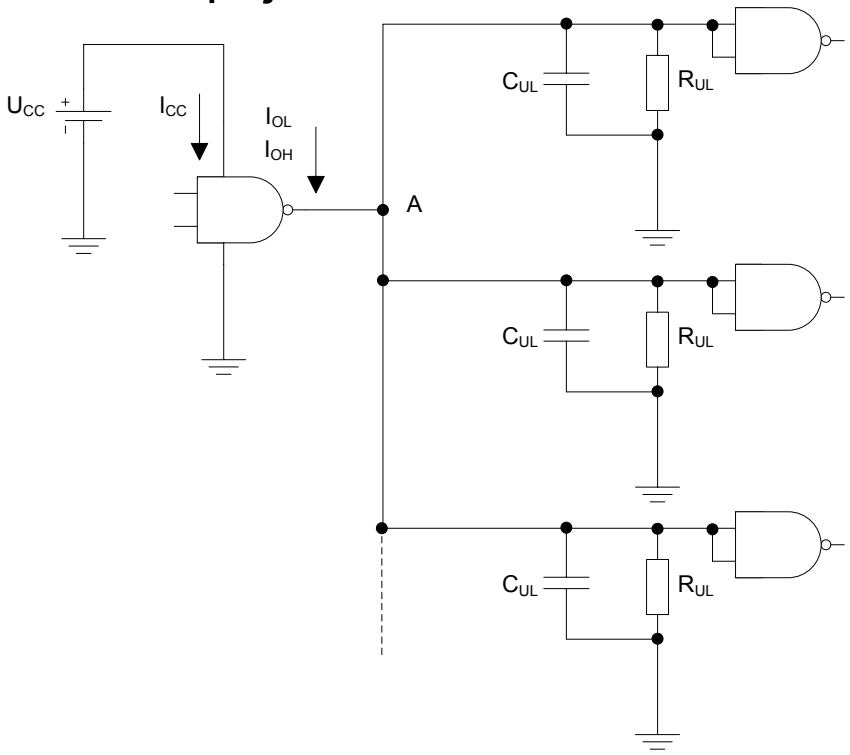
- CMOS digitalni sklopovi u statičkim prilikama *ne disipiraju* snagu, ali troše struju izvora napajanje prilikom promjene logičkog stanja
- TTL sklopovi imaju određenu potrošnju i u statičkim uvjetima





Blokadni kondenzatori

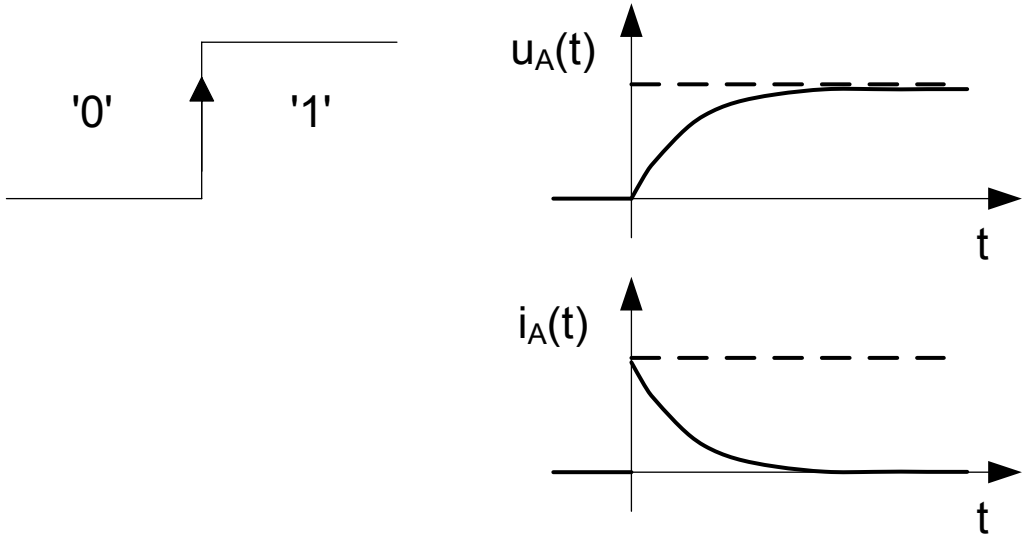
- u digitalnim sklopovima izlazi invertora kapacitivno su opterećeni ulazima sljedećih stupnjeva



- izlaz invertora opterećen je s N ulaza invertora sljedećeg stupanja (N_{max} = faktor grananja, *fan-out*)

Blokadni kondenzatori

- u stacionarnom stanju u ulaze invertora sljedećeg stupnja praktički ne teče struja (zbog vel. $R_{UL} \sim$ MΩ - 100 MΩ)
- promjene logičkog stanja u digitalnom sklopu sinkronizirana je na signal vremenskog vođenja (npr. '0' → '1'):



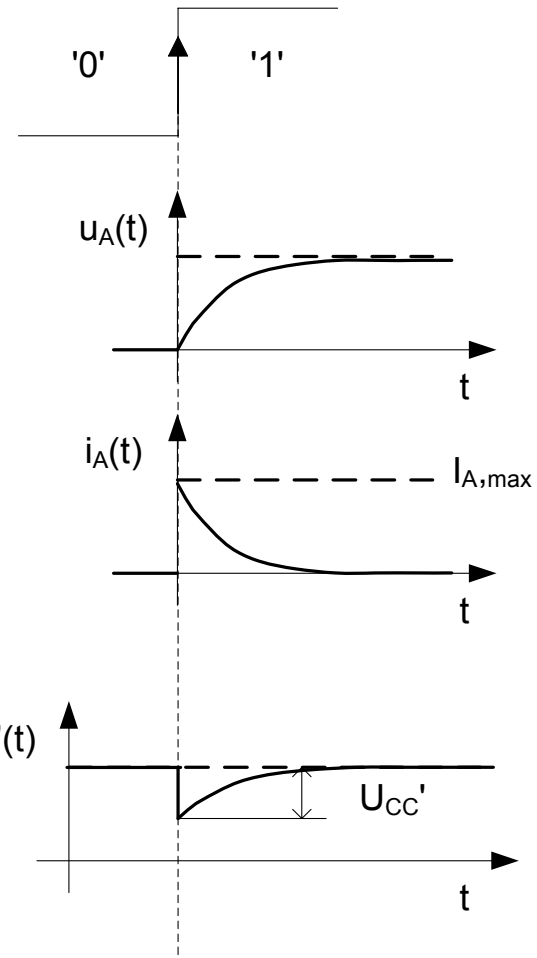
- ulazni kapacitet invertora je malenog iznosa (tipično ~ pF) – kratki strujni "šiljak" za nabijanje ili izbijanje kapaciteta C_{UL}

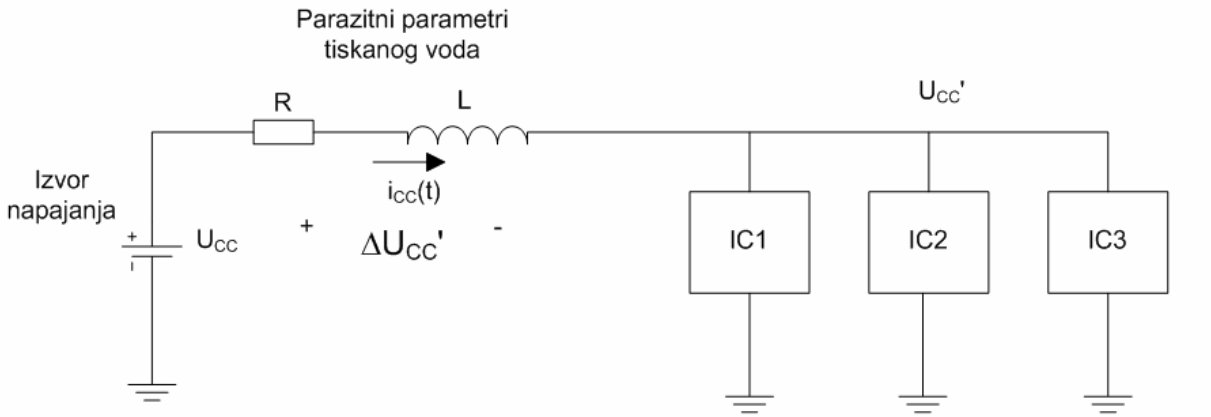
Blokadni kondenzatori

- problem: kratki strujni “šiljak” $I_{A,max}$ u trenutku promjene logičkog stanja na izlazu invertora

$$I_{A,\max} = \frac{U_{cc}}{R_{iz}}, \quad R_{iz} <<$$

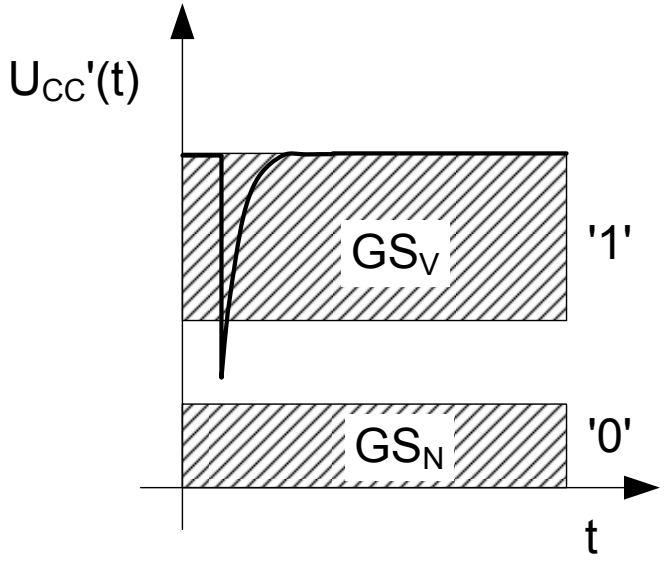
- trajanje impulsa je kratko i određeno vremenskom konstantom $\tau = R_{iz}C_{UL}$ (τ <<)
- u integriranom sklopu tipično postoji veliki broj kapacitivno opterećih invertora





Blokadni kondenzatori

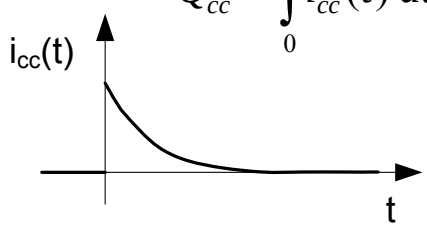
- kratkotrajni pad napona napajanja na priključku integriranog sklopa može dovesti do neispravnog rada, jer se ne može osigurati dovoljno naboja za promjenu logičkog stanja za vrijeme prijelazne pojave
- tranzijentni pad napona napajanja također može biti veći od dozvoljenih granica smetnji:

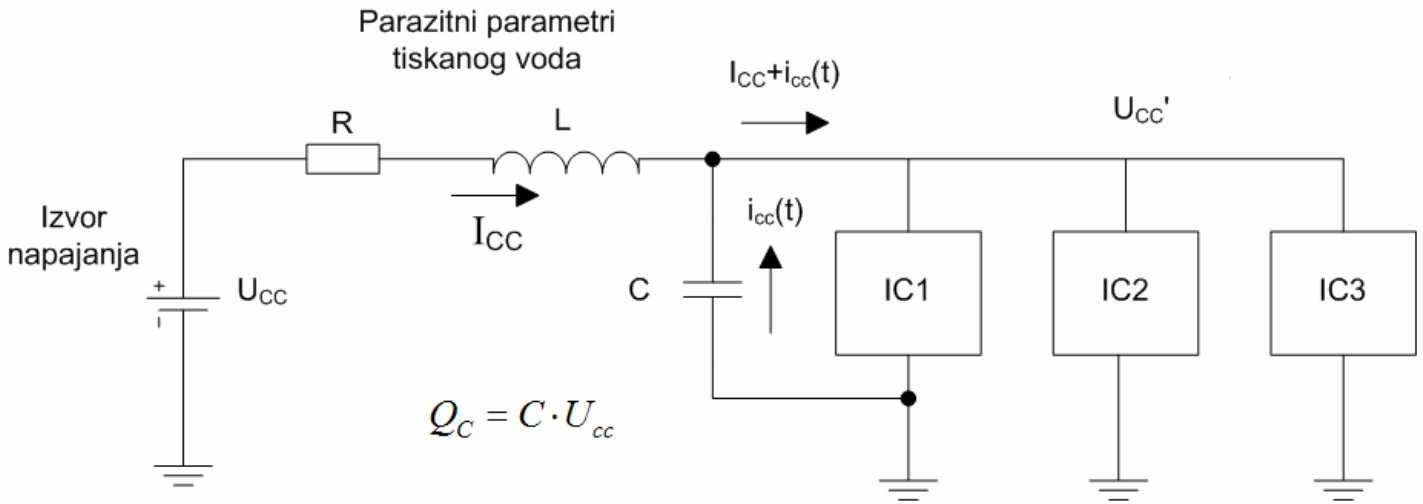


Blokadni kondenzatori

- u stacionarnom stanju na blokadnom kondenzatoru C prikuplja se naboj Q_C
- za promjenu logičkog stanja potreban mali naboj $Q_{cc,}$ ali vrlo brzo (dI/dt >>)
- induktivitet vodova između blokadnog kondenzatora i priključka napajanja je zanemariv

$$Q_{cc} = \int_0^T i_{cc}(t)\, dt$$





$$Q_C = C \cdot U_{cc}$$

Blokadni kondenzatori

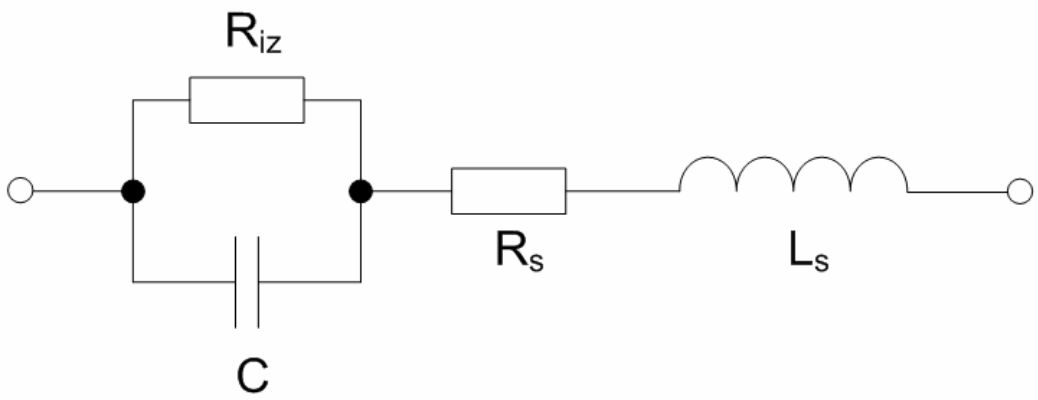
- osiguravaju zalihu naboja za brze strujne “šiljke”
- kako odabrati i postaviti blokadne kondenzatore?
- iskustveno pravilo:
  - na svaki IC postaviti jedan **keramički** kondenzator od 100 nF
  - na približno svakih 5 IC postaviti jedan **tantalov elektrolitski** kondenzator od 10 μF
- na tiskanoj pločici blokadne kondenzatore postaviti **što bliže** integriranom sklopu
- vrlo važno: minimizirati **duljinu** vodljivih veza između kondenzatora i izvoda napajanja integriranog sklopa (minimizacija parazitnog induktiviteta ~ nH)
- kondenzatori s izvodima (*through-hole*) imaju veći induktivitet priključaka od SMD kondenzatora
- na digitalne sklopove i unipolarne analogne IC ide **jedan** blok. kondenzator (između GND i V_{CC}), dok na bipolarne analogne IC idu **dva** (između GND i V_{CC} i između GND i V_{EE})

Blokadni kondenzatori

- čemu služe blokadni kondenzatori kod analognih sklopova?
  - nema problema s pojavom strujnih šiljaka kao kod digitalnih sklopova jer se ne mijenjaju logička stanja
  - osim toga, analogni sklopovi (tipično pojačala) imaju ograničeno radno frekvencijsko područje
  - kod analognih sklopova blokadni kondenzatori pomažu u potiskivanju smetnji nastalih na vodovima napajanja, poglavito zbog opisanog utjecaja digitalnih sklopova

Blokadni kondenzatori

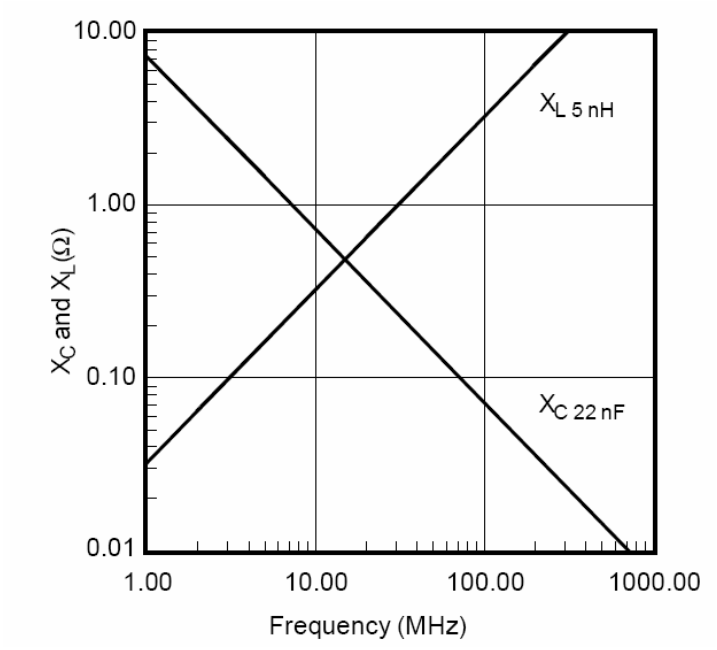
- koju vrstu kondenzatora odabrati?
- nadomjesna shema realnog kondenzatora:

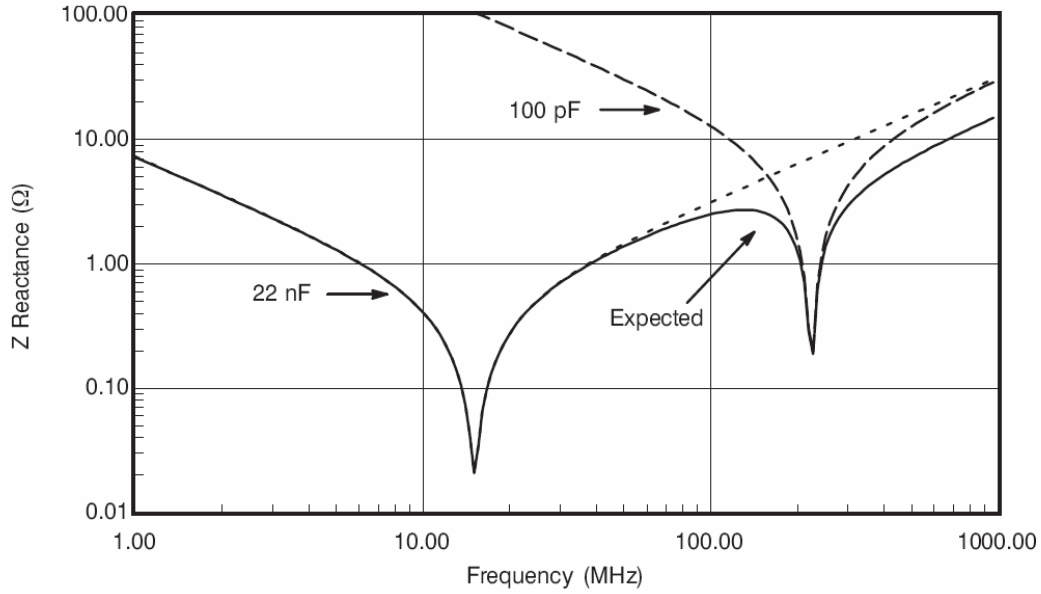


- C – kapacitet kondenzatora
- R_{iz} – izolacijski otpor (dielektrika)
- R_s – serijski otpor (izvoda)
- L_s – serijski induktivitet (izvoda)

Blokadni kondenzatori

- frekvencijska karakteristika realnog (keramičkog) kondenzatora:



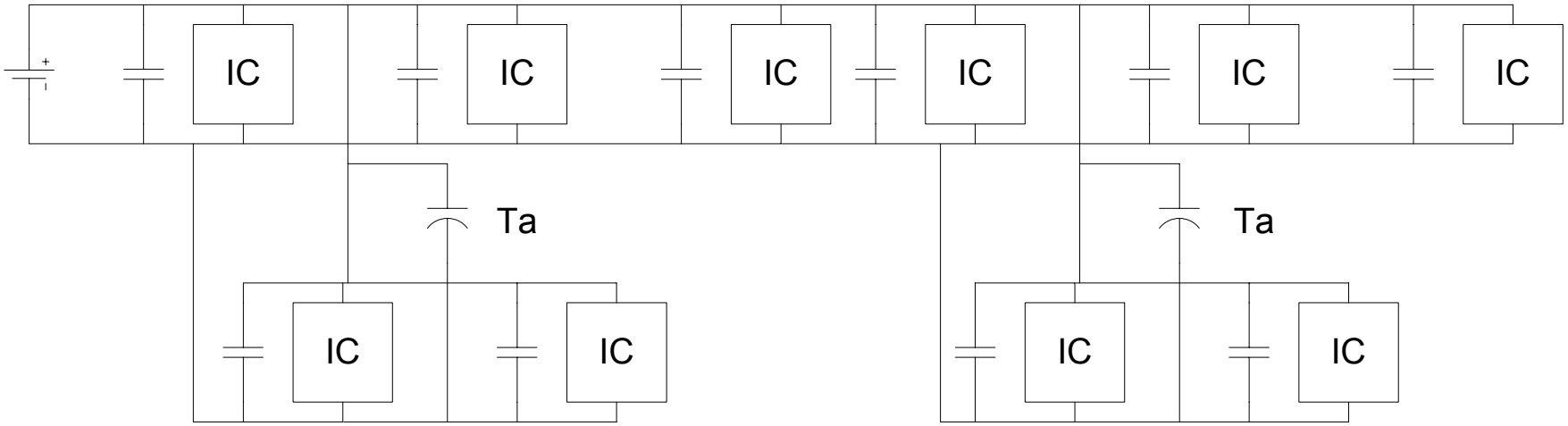


Blokadni kondenzatori

- najčešće korištene vrste kondenzatora:
  - keramički – mali kapacitet, dobra VF svojstva
  - folijski – odlična stabilnost, slaba VF svojstva (zbog parazitnog induktiviteta)
  - elektrolitski (aluminijski, tantalovi) – visoki kapacitet, loša VF svojstva (tantalovi imaju bolja VF svojstva)
- za blokadu napajanja integriranih sklopova koriste se **keramički** i **tantalovi elektrolitski** kondenzatori
- za više frekvencije bolji su keramički kondenzatori manjeg nazivnog kapaciteta
- brzi strujni “šiljak” – dominantan spektar u VF području

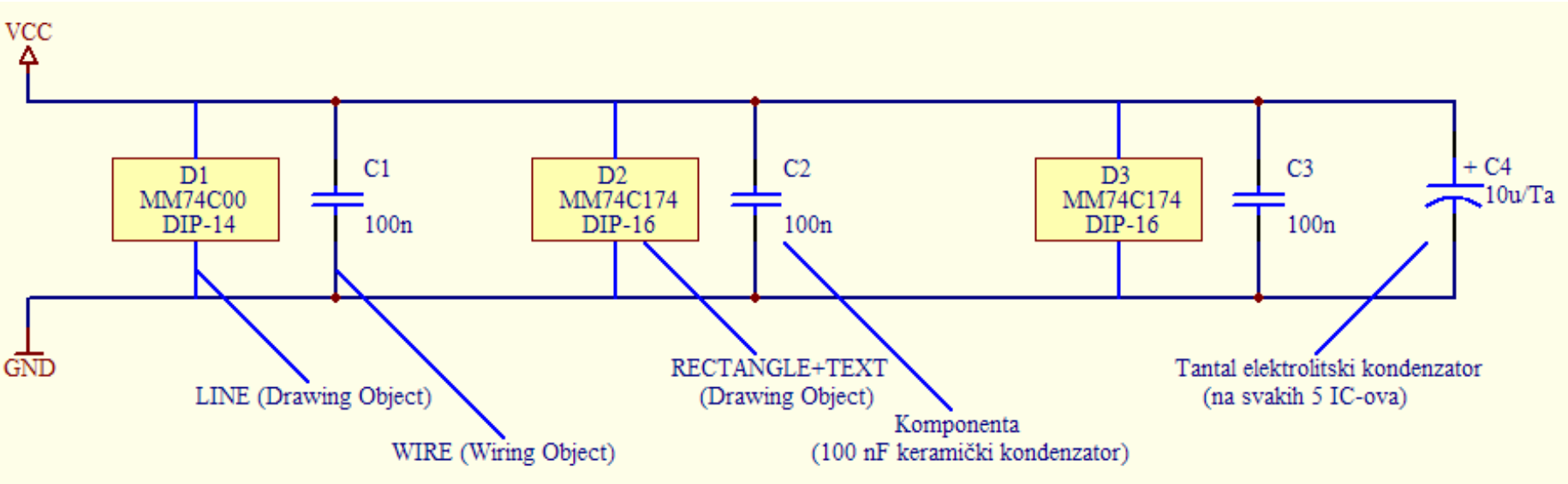
Blokadni kondenzatori

- primjer raspoređivanja blokadnih kondenzatora na tiskanoj pločici:



Blokadni kondenzatori

- crtanje blokadnih kondenzatora na električkoj shemi:



Napajanje tiskane pločice

- u programu će se projektirati funkcionalni dio uređaja, u načelu bez projektiranja izvora napajanja
- napajanje na pločicu potrebno je dovesti preko konektora (redne stezaljke, *screw terminals*)
- na konektor napajanja obavezno spojiti vod mase! (također i na sve U/I signalne konektore)

Blokada izvora napajanja

- drugačija problematika od blokade napajanja integriranih sklopova
- ako se napajanje na tiskanu pločicu dovodi iz vanjskog stabiliziranog izvora, uz konektor napajanja se u pravilu postavlja kondenzator koji služi za filtriranje valovitosti napona napajanja
- engl. *bulk capacitor* (kondenzatori za blokadu napajanja IC-ova nazivaju se engl. *decoupling* i *bypassing capacitors*)
- u pravilu se postavlja Al elektrolitski kondenzator 100 μF
- Al elektrolitski kondenzator radi dobro radi za frekvencijsko područje napona valovitosti poluvalno ili punovalno ispravljenog mrežnog napona
- bitno je da je kapacitet što veći (razlog zašto se koriste elektrolitski kondenzatori)

Blokada izvora napajanja

- Ta elektrolitski kondenzatori – manje se koriste kao *bulk* kondenzatori jer lošije podnose strujne šiljke (iako imaju bolje VF karakteristike od Al elektrolitskih kondenzatora)
- obratiti pažnju na nazivni napon – što je veći kapacitet, to je nazivni napon manji! (uži dielektrik formiran oksidacijom aluminija)
- unipolarno napajanje blokira se jednim kondenzatorom, a bipolarno s dva (kao i kod analognih IC)
- paziti na polaritet! (elektrolitski kondenzatori su polarizirani, za razliku od keramičkih ili folijskih)

Konektori za napajanje i signale

- kod jednostavnijih uređaja za napajanje i signale najčešće se koriste sljedeći tipovi konektora:
  - redne stezaljke (*screw terminal*)
  - konektor za trakasti (*flat*) kabel (*header*) (dvoredni konektor)
  - jednoredni konektor
- tipični razmak između izvoda: 2.54 mm (0.1 inch)

4. Opis rada

- jezgrovit tehnički opis kako zadani sklop radi
- pozvati se na dijelove električke i blok sheme
- u programu bit će dovoljno opisati principe rada sklopa na 1-2 stranice, bez detaljnog proračuna (osim minimalno potrebnog za razumijevanje rada sklopa)
- prilikom analize rada sklopa važno je procijeniti potrošnju kako bi se na ispravan način mogao odabrati prikladan izvor napajanja, procijeniti autonomija rada baterijski napajanog uređaja i sl.

5. Tehnički podaci

- zajamčeni i informativni tehnički podaci
- zajamčeni tehnički podaci – npr. digitalni voltmetar:
  - mjerno razlučivanje (broj podjeljaka, broj binarnih znamenaka (bita), broj dekadskih znamenaka (digita))
  - granična mjerna pogreška (relativna, apsolutna)
  - mjerni opseg
  - učestalost mjerenja (broj mjerenja u jedinici vremena)
- ključna stvar: potpuno električki opisati **sve ulaze i izlaze!**
  - točno značenje svih priključaka konektora:
    - X1-1 napajanje, X1-2 masa,
    - X2-1 ulazni signal, X2-2 masa itd.
- ulaz:
  - mjerna područja, ulazna impedancija, frekvencijska karakteristika...
  - u *ulaze* spadaju ne samo mjerni ulazi, već i *tipke, tipkovnice, potenciometri, preklopke* i sl. (sve što je dostupno korisniku i što se unosi u sustav)

5. Tehnički podaci

- izlaz:
  - potpuni električki opis signalnih izlaza (ako ih ima), npr:
    - relej jednostruki preklopni kontakt, 250V~/10A,
    - struja 4-20 mA
    - napon 0 – 10 V
    - itd.
  - u *izlaze* spada sve što je izvana dostupno korisniku (iznosi se iz sustava), npr.:
    - signalni izlazi
    - prikazne jedinice (LED 7-SEGx4, LCD 16x2 itd.)
    - registracijske jedinice (pisači)
    - i sl.

5. Tehnički podaci

- napajanje:
  - nazivni napon, struja i eventualno snaga (frekvencija za izmjenično), tolerancija napona
  - izmjenično:
    - 220 VAC +10% -15%/ 50 Hz ±1%/100 mA/22 VA
    - navesti osigurač, ako postoji
  - istosmjerno:
    - 24 VDC ±20%/50 mA
    - stabilizirano ili ne
    - simetrično ili ne (±V)
    - baterijsko (navesti tip baterije)
- kućište:
  - stupanj zaštite (IPxx), ugradnja, dimenzije, masa
- opis svih priključaka (napajanje, signali i ostalo) (poželjno definirati i pretpostavljene razine, frekvencije i sl., kada je moguće)

5. Tehnički podaci

- temperaturno područje rada:
  - ovisi u ugrađenim komponentama npr:
    - komercijalni (COM): 0 – 70 °C
    - industrijski (IND): -40 – 85 °C
    - automobilski (AUT): -40 – 125 °C
    - vojni (MIL): -55 – 125 °C
- za digitalne sklopove navesti: logičke razine, logičku porodicu, vrijeme porasta (ako je bitno kod bržih sklopova) i sl.

6. Uputstvo za uporabu

- sadrži bitne podatke za primjenu uređaja:
  - priprema uređaja (za neke programe to će biti samo priključak na napajanje)
  - uputstvo za rukovanje
  - uputstvo za održavanje (čišćenje, zamjena baterija i sl.)
  - uputstvo za umjeravanje
- (detaljnije je opisano u skripti)

7. Sastavnica

- tablični opis svih komponenata na temelju kojeg se komponente nabavljaju:
  - električke (pasivne, aktivne, integrirani sklopovi i sl.)
  - elektromehaničke (konektori, tipkala i sl.)
  - elektrotermičke (hladila)
  - mehaničke (kutije, vijci, odstojnici itd.)
- komponente se u sastavnici grupiraju:
  - prema vrsti (prema ranije navedenog slijedu)
  - unutar grupe prema složenosti, počevši od najsloženijih (integrirani sklopovi, diskretne aktivne komponente, pasivne komponente)

Sastavnica

- format sastavnice:

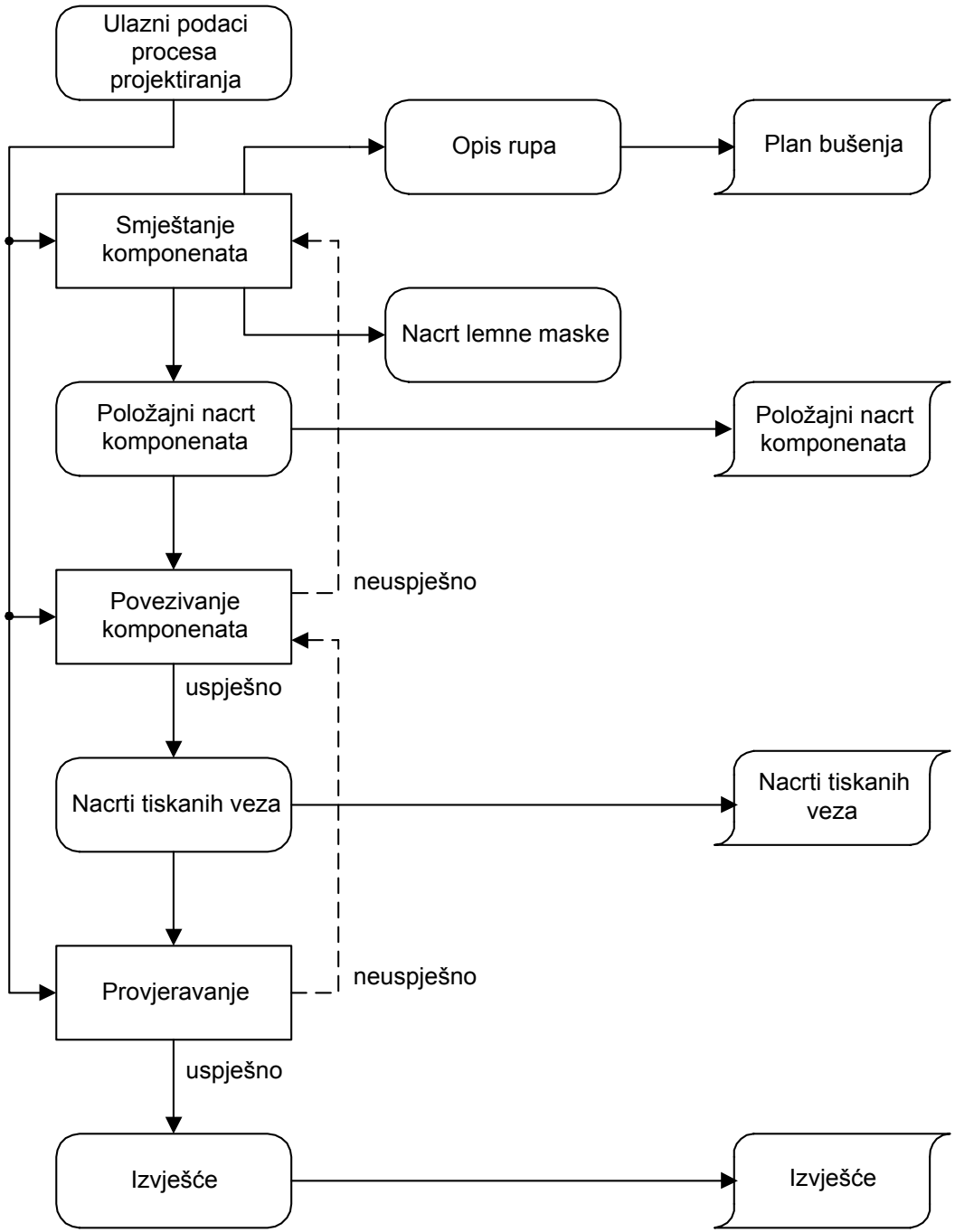
Redni broj	Oznake komponenata	Opis komponente	Kućište	Proizvođač	Katalog dobavljača	Kataloški broj	Količina
1	D1, D2	74HCT244 osmerostruko sabirničko odvojno pojačalo	DIP-20	-	Farnell	382267	2
2	V1, V7-V10, V13	NPN tranzistor BC546B	TO-92	-	Farnell	1467868	6
3	R4	Kovinoslojni otpornik, 22k/0.25W,1%	AXIAL0.4	-	Farnell	9341544	1

- uz svaku komponentu treba staviti kratki opis (naziv integriranog sklopa, opis funkcije, nazivne i utjecajne vrijednosti komponenata i sl.)
- proizvođač se najčešće ne navodi uz “generičke” komponente, već u slučajevima kada je to bitno za nabavu komponente (npr. kod preklopki, jer se svaka fizički izvodi na nešto drugačiji način)

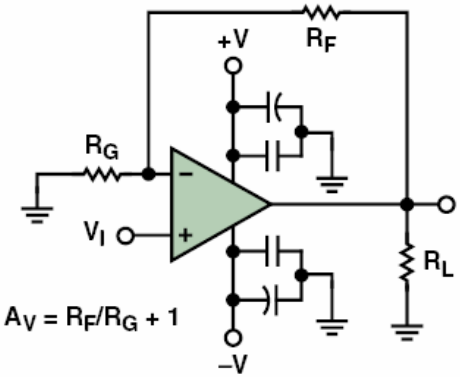
Projektiranje tiskanih veza

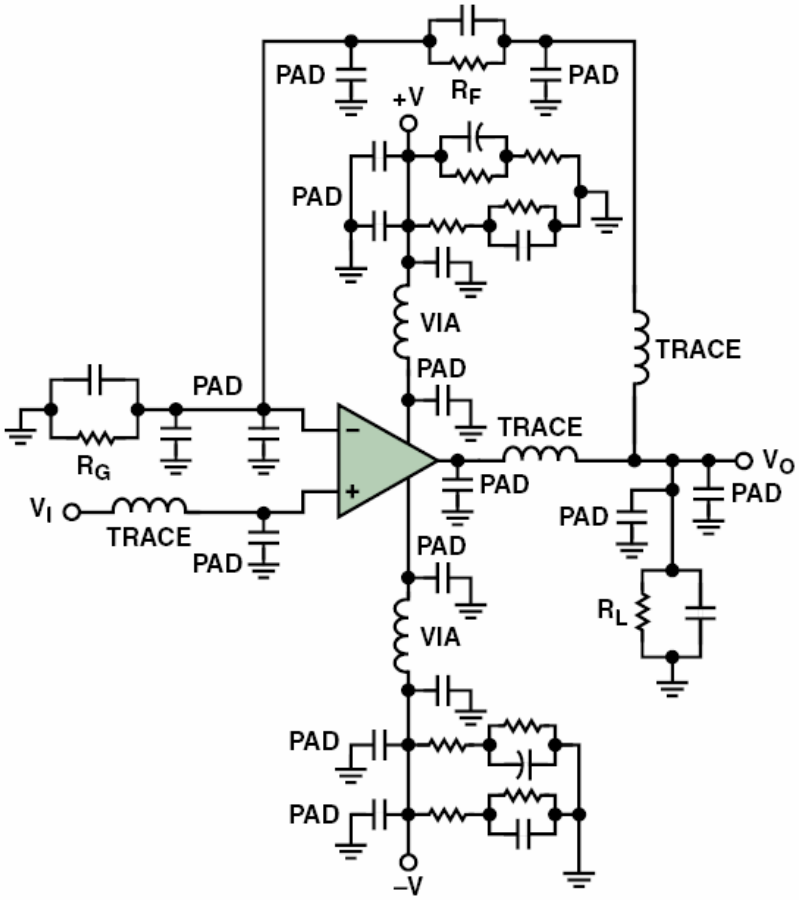
Projektiranje tiskanih veza

- završni dio procesa električkog, mehaničkog i toplinskog projektiranja sklopovlja jedne zasebne cjeline elektroničkog uređaja
- položajni nacrt komponenata, nacrt(i) tiskanih veza i plan bušenja izlazni su rezultati postupka projektiranja tiskanih veza
- električko i mehaničko povezivanje elektroničkih komponenata tiskanom pločicom **nije** puko smještanje komponenata na što manjoj površini i međusobno spajanje njihovih izvoda tiskanim vezama
- tiskana pločica - skup električkih vodova s prostorno raspodijeljenim parametrima, međusobno povezanih elektromagnetskim putem
- tiskana pločica, iako nevidljiva u električkoj shemi sklopa, u njoj je sveprisutna, unoseći RLC dvopol u svaki čvor (spoj dvije ili više komponenata) te CMG dvopol između čvorova svih parova čvorova
- vrijednosti svojstvenih veličina nadomjesnih dvopola, koji opisuju svaki tiskani vod na pločici, funkcije su **geometrije** vodljivih likova, čije određivanje stoga **nije puko crtanje** već **projektiranje**

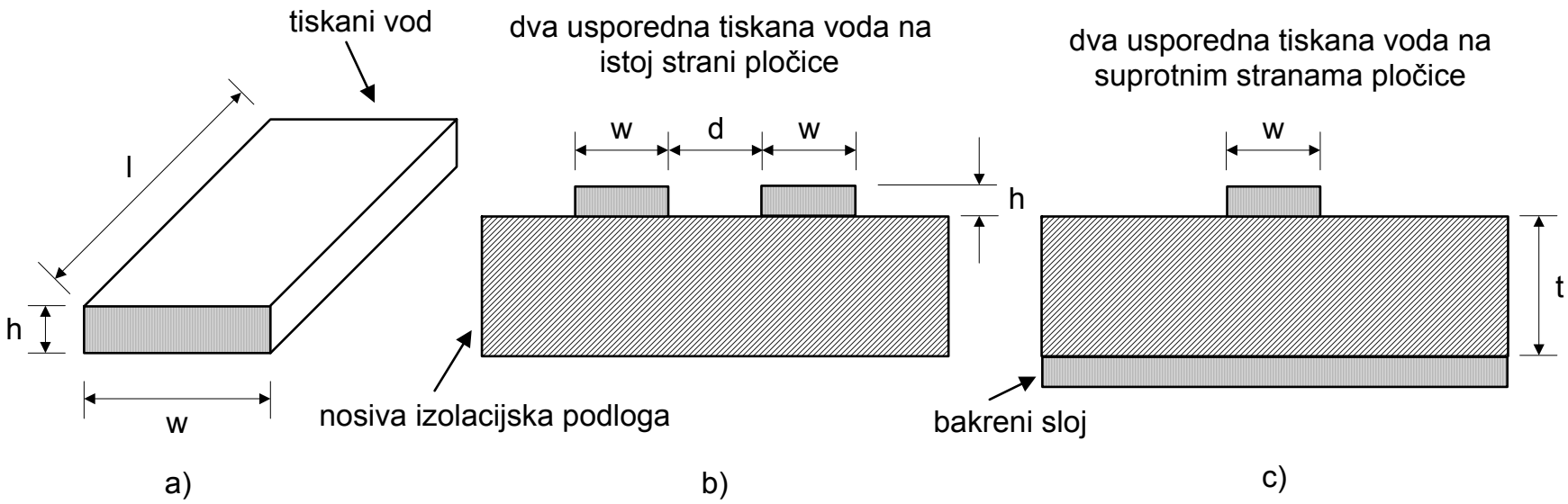

Ulazni podaci procesa projektiranja
Opis rupa
Plan bušenja
Smještanje komponenata
Nacrt lemne maske
Položajni nacrt komponenata
Položajni nacrt komponenata
neuspješno
Povezivanje komponenata
uspješno
Nacrti tiskanih veza
Nacrti tiskanih veza
neuspješno
Provjeravanje
uspješno
Izvješće
Izvješće

Parazitni električki parametri tiskanih vodova





Parazitni električki parametri tiskanih vodova



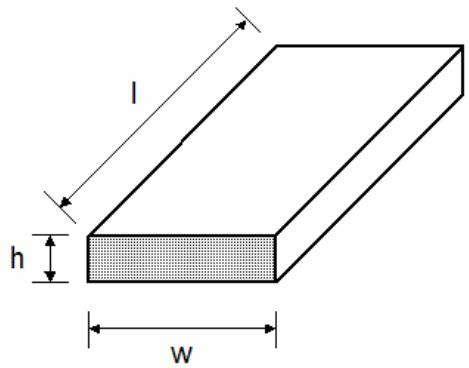
Električki otpor tiskanih veza

- tiskani vodovi imaju konačni otpor
- primjer:

T = 25 °C, ρ_{Cu} = 1.724 x 10^{-8} Ωm, h = 38 μm,

l = 100 mm, w = 1 mm, S = 0.038 mm^2

ako kroz tiskani vod teče struja I, tada će ona uzrokovati pad napona ΔU:



I	ΔU
2.2 mA	100 μV
22 mA	1 mV
220 mA	10 mV
2.2 A	0.1 V

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Električki otpor tiskanih veza

- primjer: tenzometarski most
- struja koja teče u senzor:

$$I_0 = \frac{V_{REF}}{R_b} = \frac{5\ \mathrm{V}}{120\ \Omega} = 42\ \mathrm{mA}$$

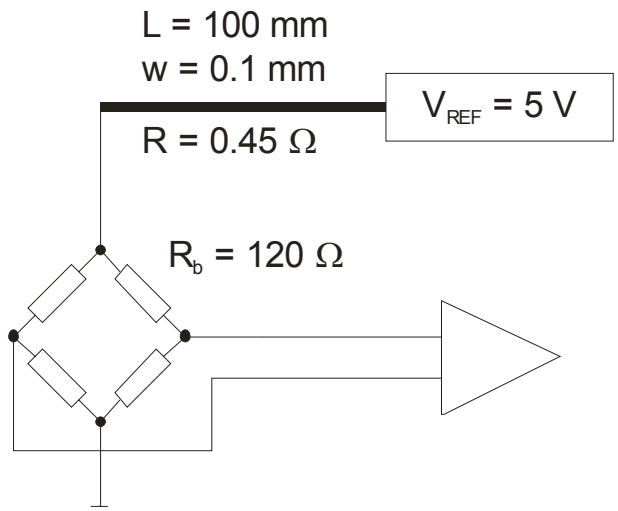
- pad napona na tiskanom vodu:

$$\Delta U = R \cdot I_0 = 18.9\ \mathrm{mV}$$

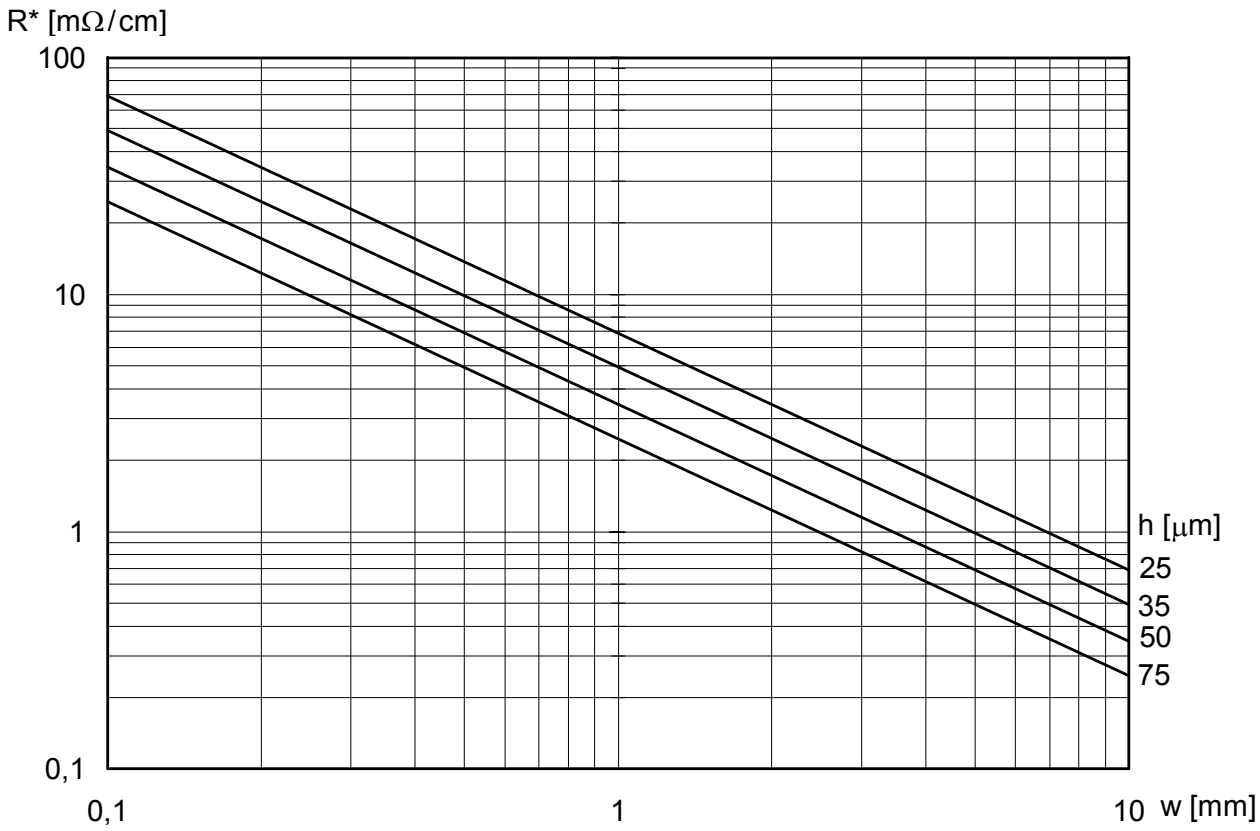
- ΔU će uzrokovati postotnu pogrešku mjerenja naprezanja:

$$\frac{\Delta U}{V_{REF}} = \frac{18.9\ \mathrm{mV}}{5\ \mathrm{V}} \cdot 100\% = 0.38\ \%$$

ako se utjecaj pada napona ΔU pravilno ne kompenzira u postupku kalibracije



Specifični otpor tiskanih veza



Ovisnost specifičnog linijskog otpora **R*** ravnoga tiskanog voda o njegovoj širini **w**, za različite debljine **h** bakrenog sloja

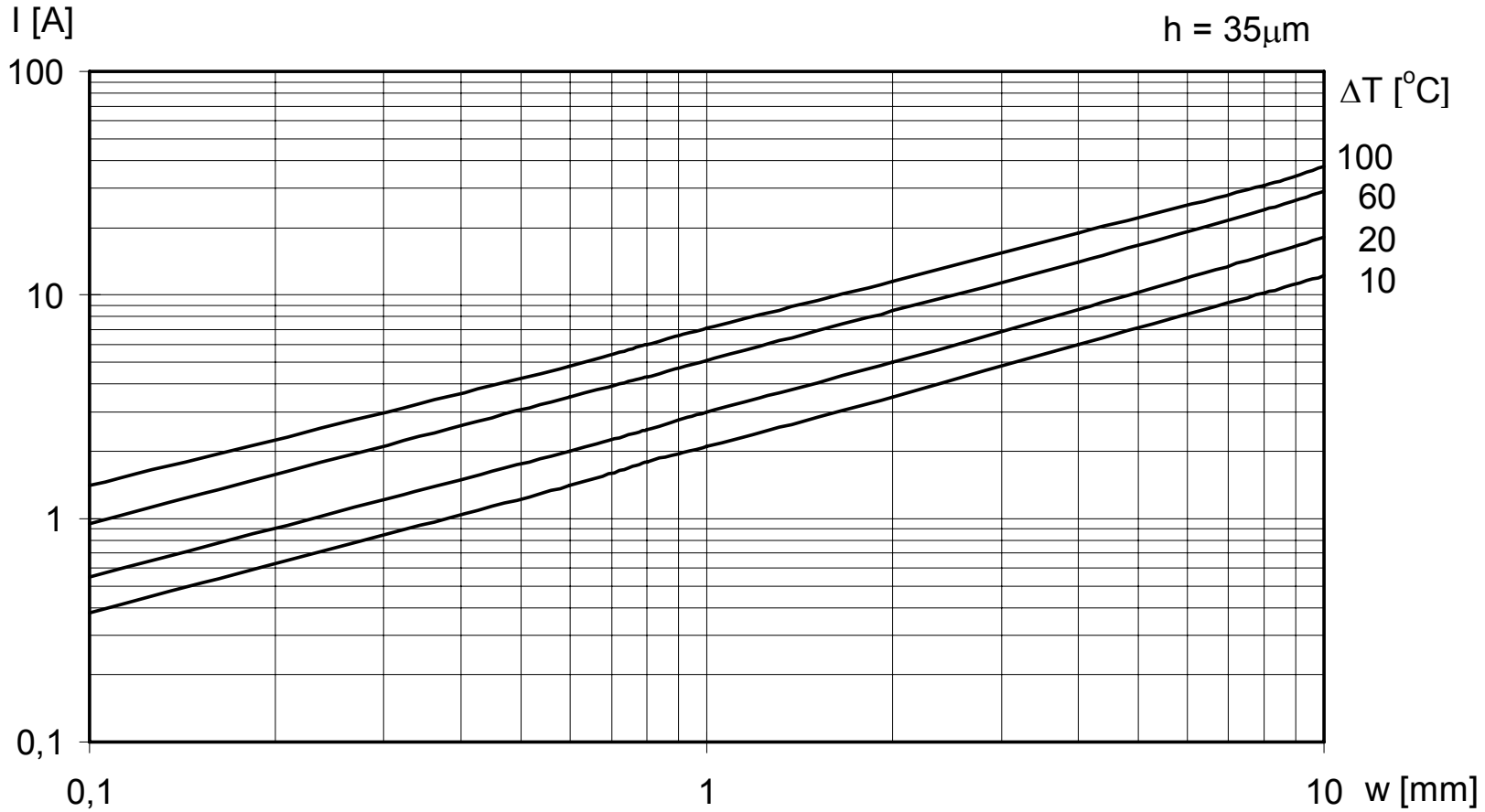
Zagrijavanje tiskanih vodova

- zbog konačnog otpora tiskani vodovi mogu se zagrijavati uslijed protjecanja struje:

$$P = I^2 \cdot R_{PCB}$$

- to je razlog, između ostalog, zašto su vodovi napajanja (i ostali kroz koje teku veće struje) deblji
- odvođenje topline:
  - mehanizmi:
    - kondukcija – slabo (podloga je dobar izolator)
    - konveksija – razmjena topline s okolnim zrakom
  - za procjenu učinkovitosti razmjene topline važno je znati vanjsku radnu temperaturu
  - također je bitno da li se koristi maska zaustavnog laka ili ne, Sn/Pb itd.
  - u slučaju prevelike disipacije postoji mogućnost odvajanja tiskanih veza od podloge!

Zagrijavanje tiskanih vodova



Dopuštena jakost struje kroz tiskani vod debljine **h** u ovisnosti o njegovoj širini **w**, za različite vrijednosti njegove nadtemperature **ΔT**

Zagrijavanje tiskanih vodova

- preporuka: nadtemperatura vodova uslijed protjecanja struje ne bi smjela biti veća od 10 °C
- poželjno predvidjeti podopterećenje u odnosu na preporuke (*derating*)
- npr. podopterećenja prema vojnoj normi MIL-STD-275C:
  - 30%, ako se na vodove nanosi zaštitni sloj kositar-olova,
  - 15% ako se na pločicu nanosi zaustavni (zaštitni) lak,
  - 15% ako je debljina t nosive izolacijske podloge manja ili jednaka 0,8mm
  - 15% ako je debljina h bakrenog sloja veća ili jednaka 105μm
  - to daje ukupni faktor strujnog podopterećenja:

$$\frac{1}{1-0{,}3}\cdot\frac{1}{1-0{,}15}\cdot\frac{1}{1-0{,}15}\cdot\frac{1}{1-0{,}15}=2{,}33$$

u odnosu na slučaj nadtemperature 10 °C

Električki otpor tiskanih veza – skin efekt

- dodatni problem: *skin-efekt* na visokim frekvencijama (slabo prodiranje struje u unutrašnjost vodiča)
- dubina prodiranja struje u unutrašnjost vodiča δ definira se kao udaljenost od površine vodiča kod koje gustoća struje padne na vrijednost 1/e u odnosu na površinu:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot \mu \cdot f}}$$

gdje je μ magnetska permeabilnost, a ρ specifični otpor vodiča (formula vrijedi samo ako je dubina prodiranja δ manja od debljine vodiča)

- posljedica skin efekta: manji efektivni presjek vodiča (veći otpor)
- dubina prodiranja za bakar: $\delta_{Cu} \approx 66 / f^{\frac{1}{2}}$ mm

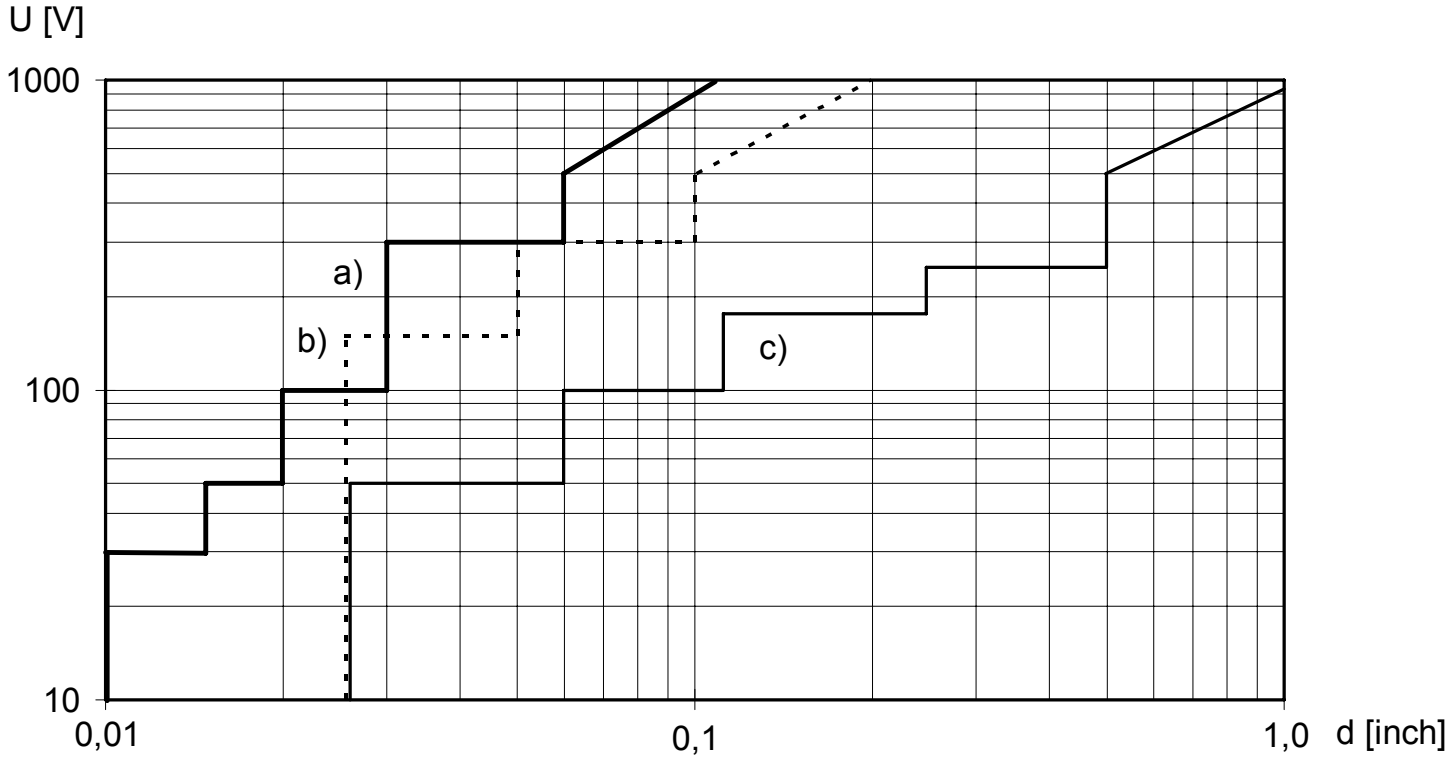
(oko 0.066 mm za 1 MHz, odnosno 0.020 mm za 10 MHz)

(za 10 MHz za vodljivi lik h = 35 μm efektivni presjek 2x manji i otpor 2x veći)

Izolacijski razmaci

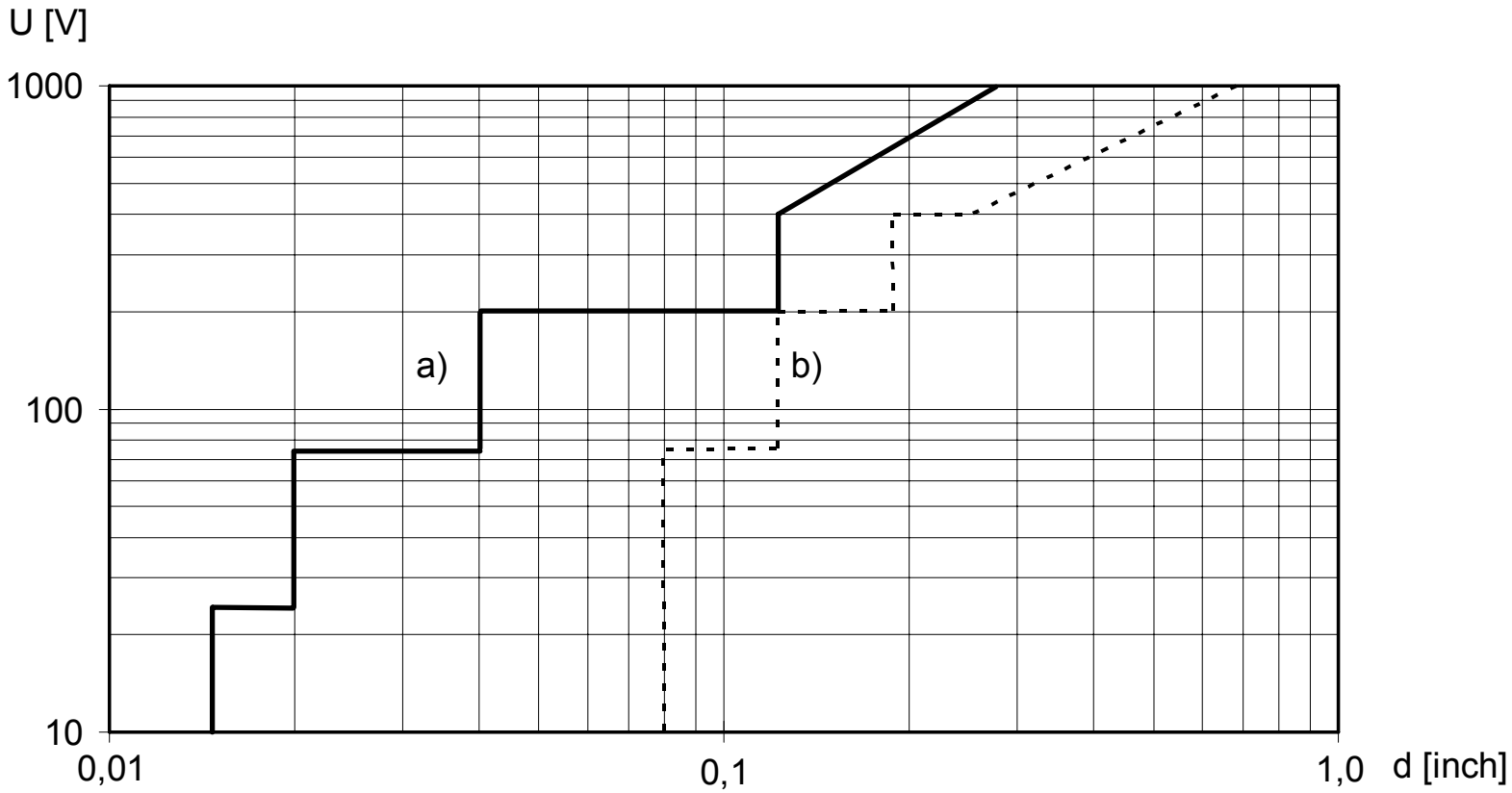
- najmanji dopušteni razmak *d* između dvaju električki odvojenih elemenata vodljivih likova funkcija je dielektričke čvrstoće izolacijskog sloja između njih
- dielektrička čvrstoća ovisi o:
  - tehnologiji (primjeni zaštitnog laka, dielektričkoj čvrstoći i debljini tiskane pločice, masama za zaštitu od vanjskih utjecaja (*conformal coating*) itd.)
  - okolnim uvjetima rada (tlak, vlaga, temperatura, prašina)
- u slučaju prevelike razlike potencijala između vodljivih likova može doći do *proboja* dielektrika ili do *izboja* (kroz zrak)
- sigurnosne preporuke za tiskane pločice koje su galvanski povezane s mrežnim naponom (IEC-348):
  - min 3 mm za napone do $250V_{RMS}$ između pojedinih dijelova uređaja
  - min 2 mm za napone do $250V_{RMS}$ između samih tiskanih vodova (preporuča se da taj razmak bude min. 3 mm kada je god moguće)

Izolacijski razmaci



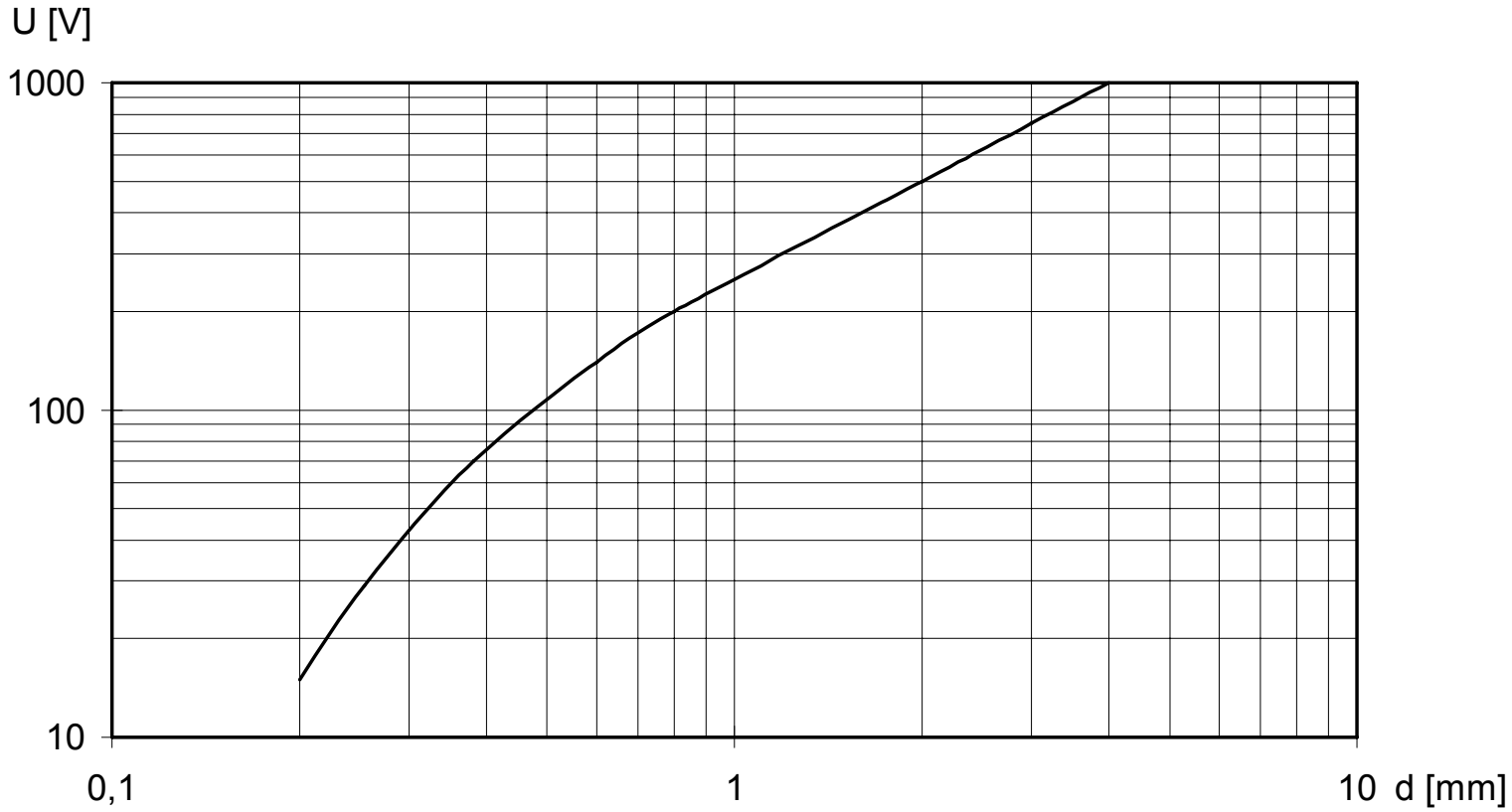
Potrebni razmak **d** između električki odvojenih elemenata vodljivih likova u ovisnosti o naponu **U** (podrazumijeva se vršna vrijednost ako je napon vremenski promjenjiv) između njih u laboratorijskim uvjetima po MIL-STD-275C za **a)** pločicu sa zaštitnim lakom, **b)** pločicu bez zaštitnog laka do 3000m nadmorske visine i **c)** pločicu bez zaštitnog laka iznad 3000m nadmorske visine

Izolacijski razmaci



Potrebni razmak **d** između električki odvojenih elemenata vodljivih likova u ovisnosti o naponu **U** (podrazumijeva se vršna vrijednost ako je napon vremenski promjenjiv) između njih po MIL-STD-275B za **a)** pločicu bez zaštitnog laka u laboratorijskim uvjetima i **b)** pločicu bez zaštitnog laka u prljavoj i prašnjavoj okolini, oboje do 3000m nadmorske visine

Izolacijski razmaci



Potrebni razmak **d** između električki odvojenih elemenata vodljivih likova u ovisnosti o naponu **U** (podrazumijeva se vršna vrijednost ako je napon vremenski promjenjiv) između njih u laboratorijskim uvjetima po IEC-28 preporuci

Izolacijski razmaci

- prema IPC (*Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits*) preporukama:

U_{DC} [V]	d [mm]	d [mil = 1/1000 inch]
0 – 30	0.1	4
30 – 150	0.65	25
150 – 300	1.27	50
300 – 500	2.54	100
500 – 1000	5.08	200
> 1000	0.005 po V	0.2 po V

- za vodove na površini tiskane pločice, bez zaustavnog laka, do 3000 m nadmorske visine
- preporuke vrijede za tiskane veze koje su tijekom rada galvanski odvojene od elektroenergetske mreže

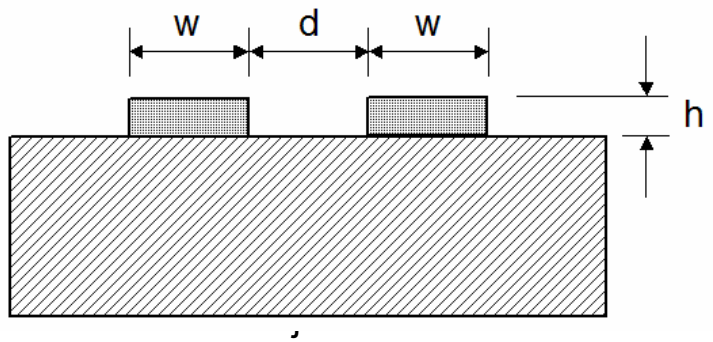
Kapacitet tiskanih veza

- ovisan o geometrijskom obliku vodljivih likova i njihovom međusobnom položaju
- za jednostavnije oblike može se jednostavno izračunati, iako su stvarni oblici likova redovito složeni i nepravilni
- kapacitet između dvaju usporednih ravnih vodova na istoj strani tiskane pločice:

$$C^* = \frac{C}{l} = 0{,}000122 \cdot \frac{h}{d} + 0{,}0905 \cdot \left(1 + \varepsilon_r\right) \cdot \log\left(1 + \frac{2 \cdot w}{d} + 2 \cdot \sqrt{\frac{w}{d}} + \frac{w^2}{200}\right)$$

$$C^* \left[pF / cm\right] ; l\left[cm\right]; d, w\left[mm\right]; h\left[\mu m\right]$$

ε_r je relativna dielektrička konstanta nosive podloge tiskane pločice (ε_r = 4,7 za FR-4)

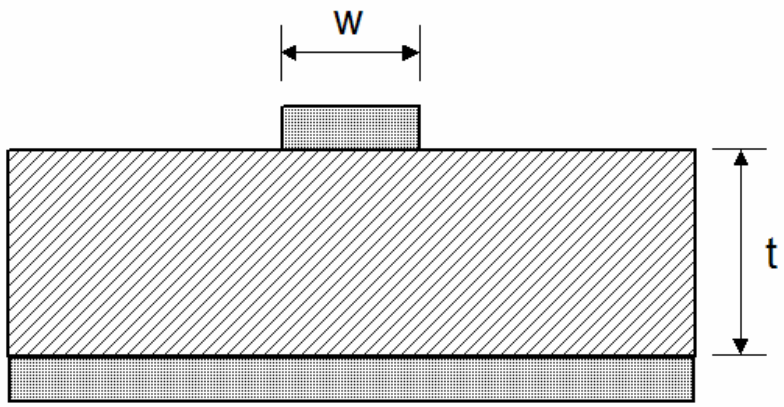


Kapacitet tiskanih veza

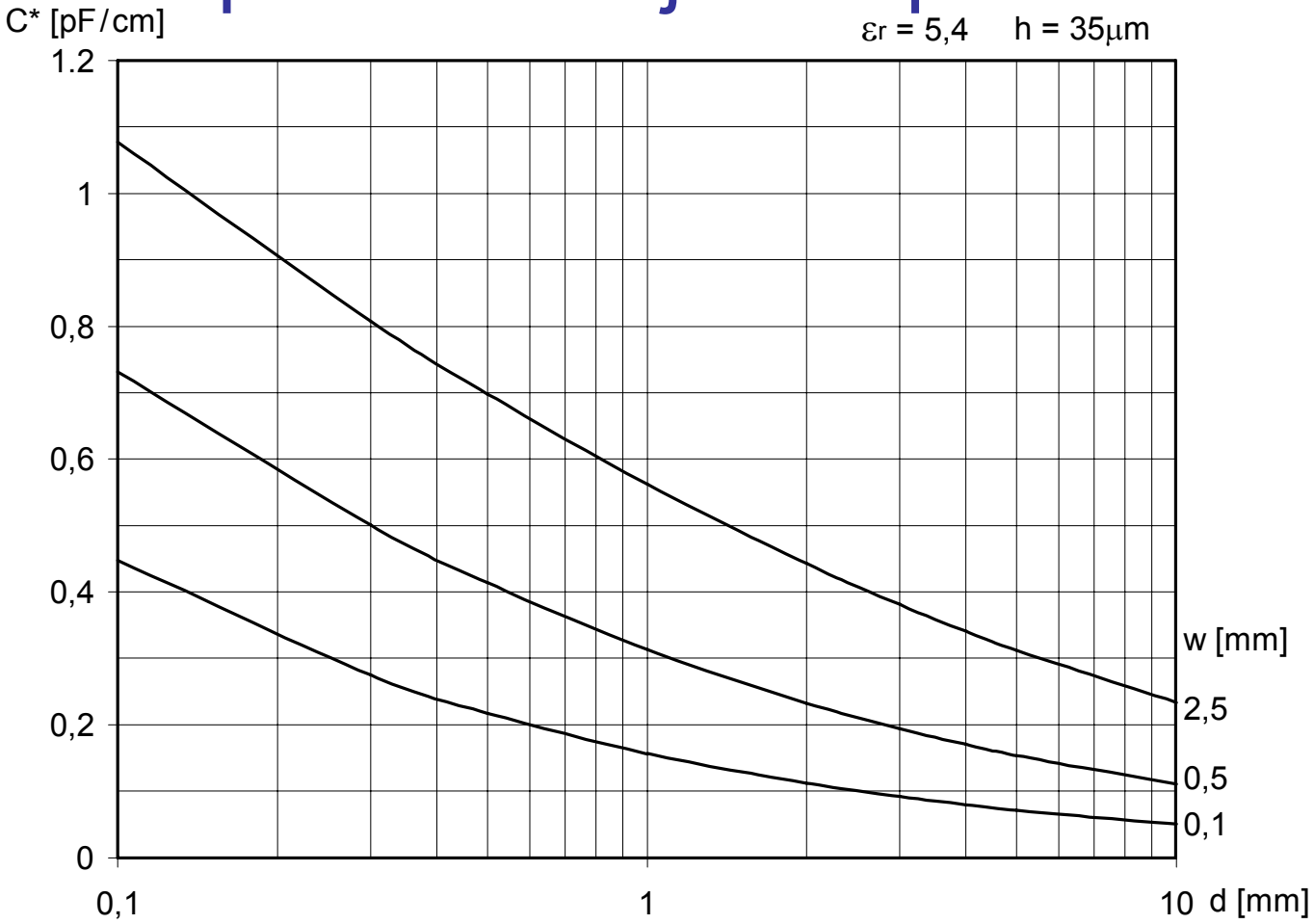
- kapacitet ravnog tiskanog voda prema bakrenom sloju na suprotnoj strani tiskane pločice:

$$C^* = \frac{C}{l} = 0{,}0886 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{w}{t};$$

$$C^* \left[pF / cm\right]; l\left[cm\right]; w, t\left[mm\right]$$

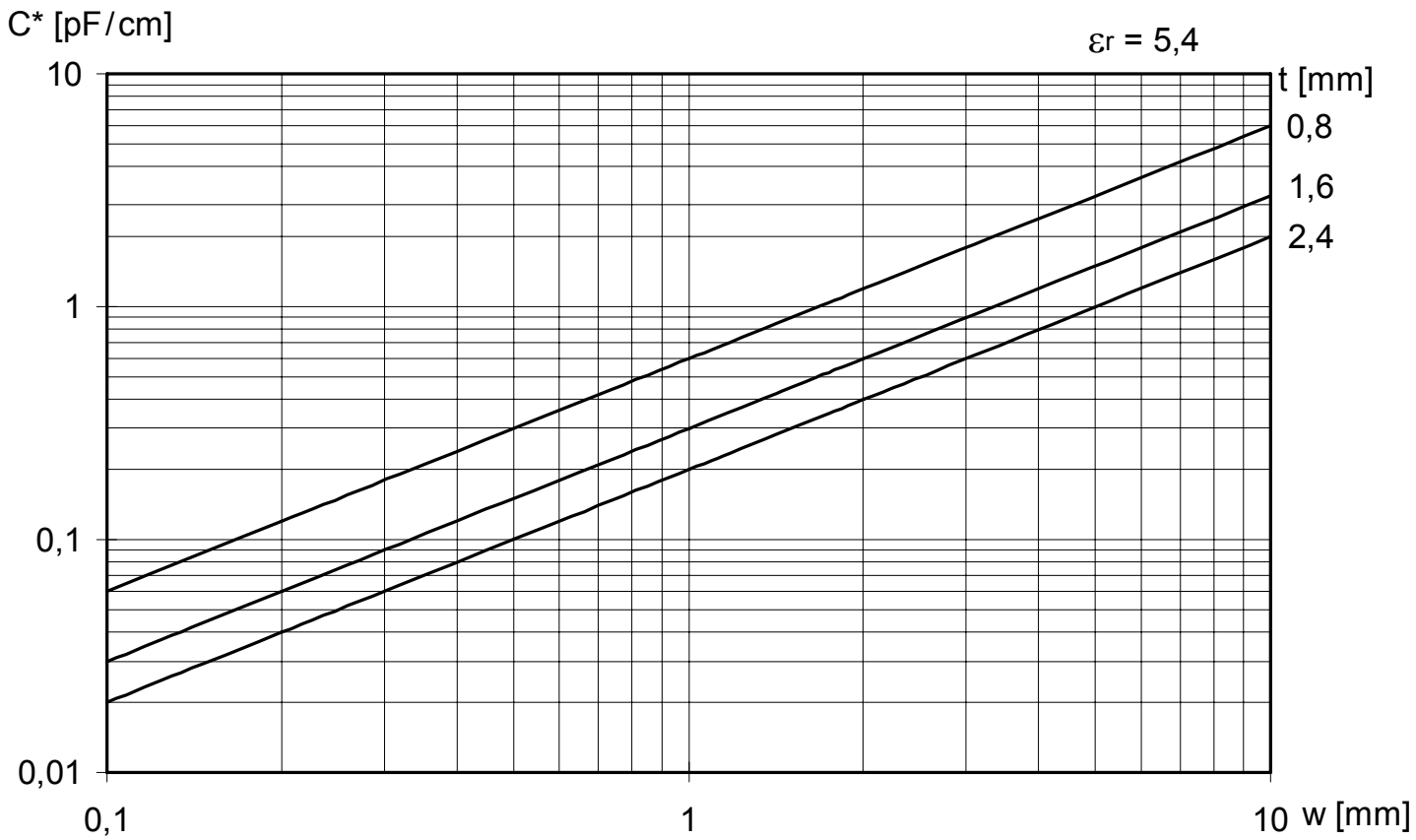


Specifični linijski kapacitet



Ovisnost specifičnog linijskog kapaciteta **C*** između dvaju usporednih ravnih tiskanih vodova na istoj strani tiskane pločice o njihovoj širini **w** i međusobnom razmaku **d**, uz debljinu bakrenog sloja **h** i nosivu podlogu relativne dielektričke konstante **εr**

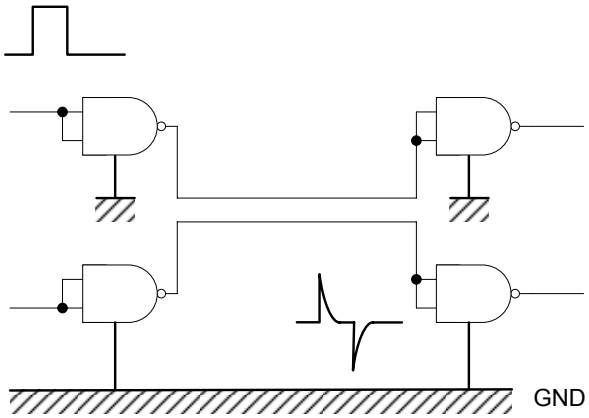
Specifični linijski kapacitet



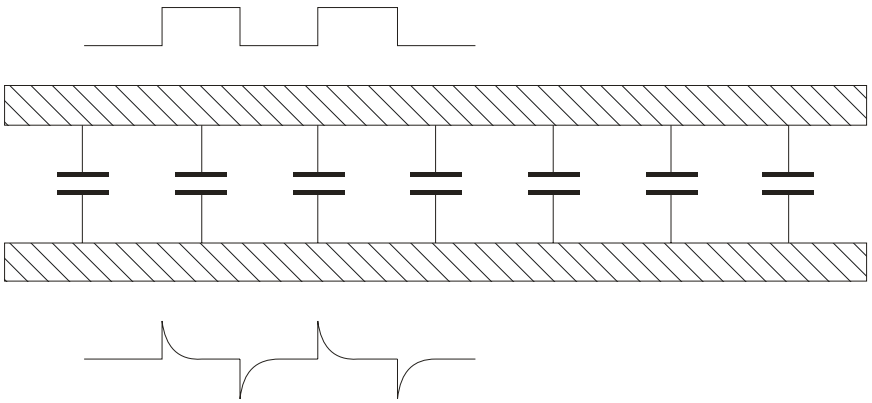
Ovisnost specifičnog linijskog kapaciteta **C*** ravnog tiskanog voda prema bakrenom sloju na suprotnoj strani tiskane pločice o njegovoj širini **w** i debljini **t** nosive podloge relativne dielektričke konstante ε_r

Problem preslušavanja (*crosstalk*)

- parazitni kapacitet između dviju susjednih tiskanih veza ponaša se kao CR-član



električka shema



tiskana pločica

Problem preslušavanja

- pojednostavljena analiza:

$$\Delta U = R \cdot i_c = R \cdot C \frac{du(t)}{dt}$$

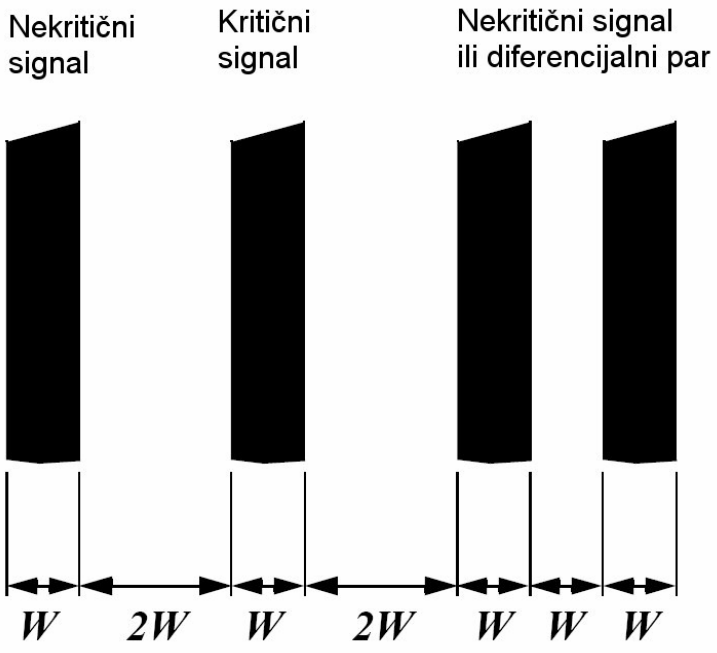
gdje je ΔU visina naponskog “šiljka”, R zaključni otpor prijemnog voda, C kapacitet između vodova, du/dt brzina porasta naponskog impulsa

- iako pojednostavljena aproksimacija CR-članom daje približni uvid u fenomen preslušavanja, egzaktnu analizu potrebno je provesti korištenjem teorije linija (*transmission lines*)

- preslušavanje se može minimizirati:
  - povećanjem razmaka među vodovima (npr. primjenom 3W pravila)
  - korištenjem *guard* i *shunt* vodova
  - niskoomskim zaključenjem osjetljivih vodova

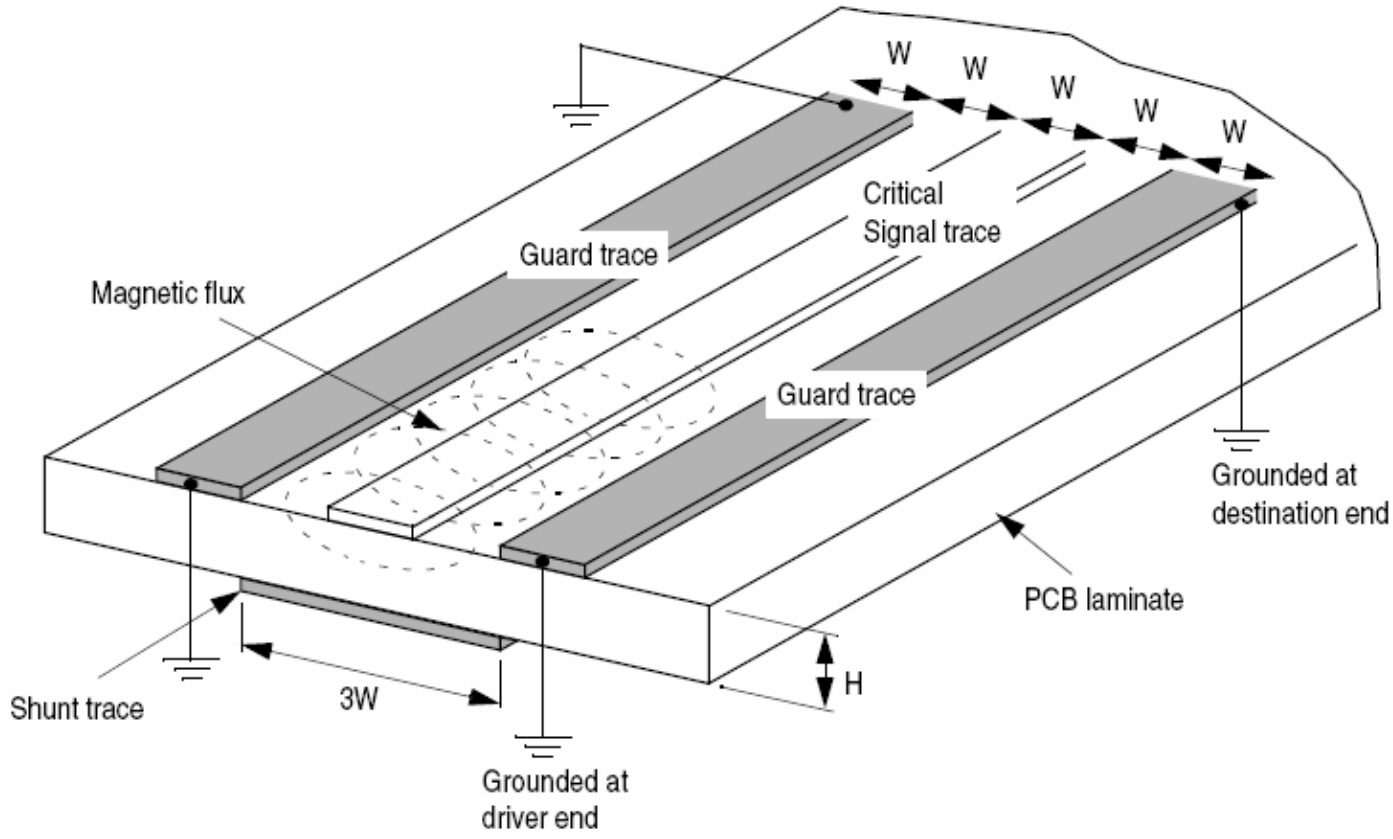
Problem preslušavanja

- 3W pravilo: razmak između vodova širine W mora biti 3W, mjereno od sredine svakog voda



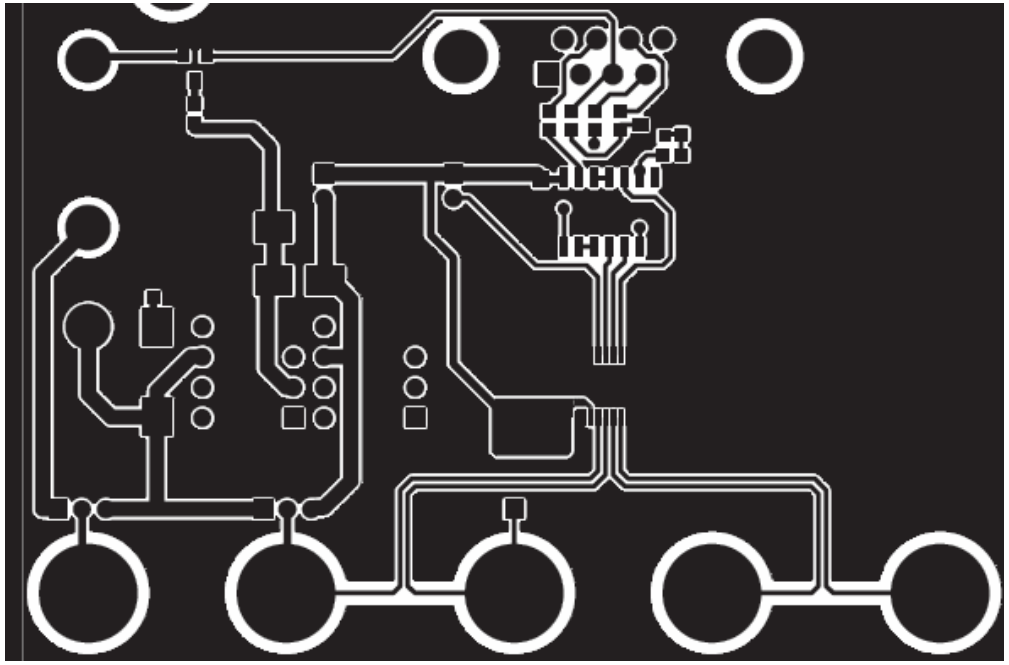
Problem preslušavanja

- korištenje *guard* i *shunt* vodova (uzemljenih vodljivih likova oko kritičnog signala, npr. signala vremenskog vođenja *(clock)*):
- Faradeyev oklop



Problem preslušavanja

- općenito, osjetljivost signalnih vodova može se smanjiti “zalijevanjem u masu” (tj. ostavljanjem bakra na neizjetkanim dijelovima vodljivog sloja i spajanjem na masu – objekt *polygon* u *Altium Designeru*):



Induktivitet tiskanog voda

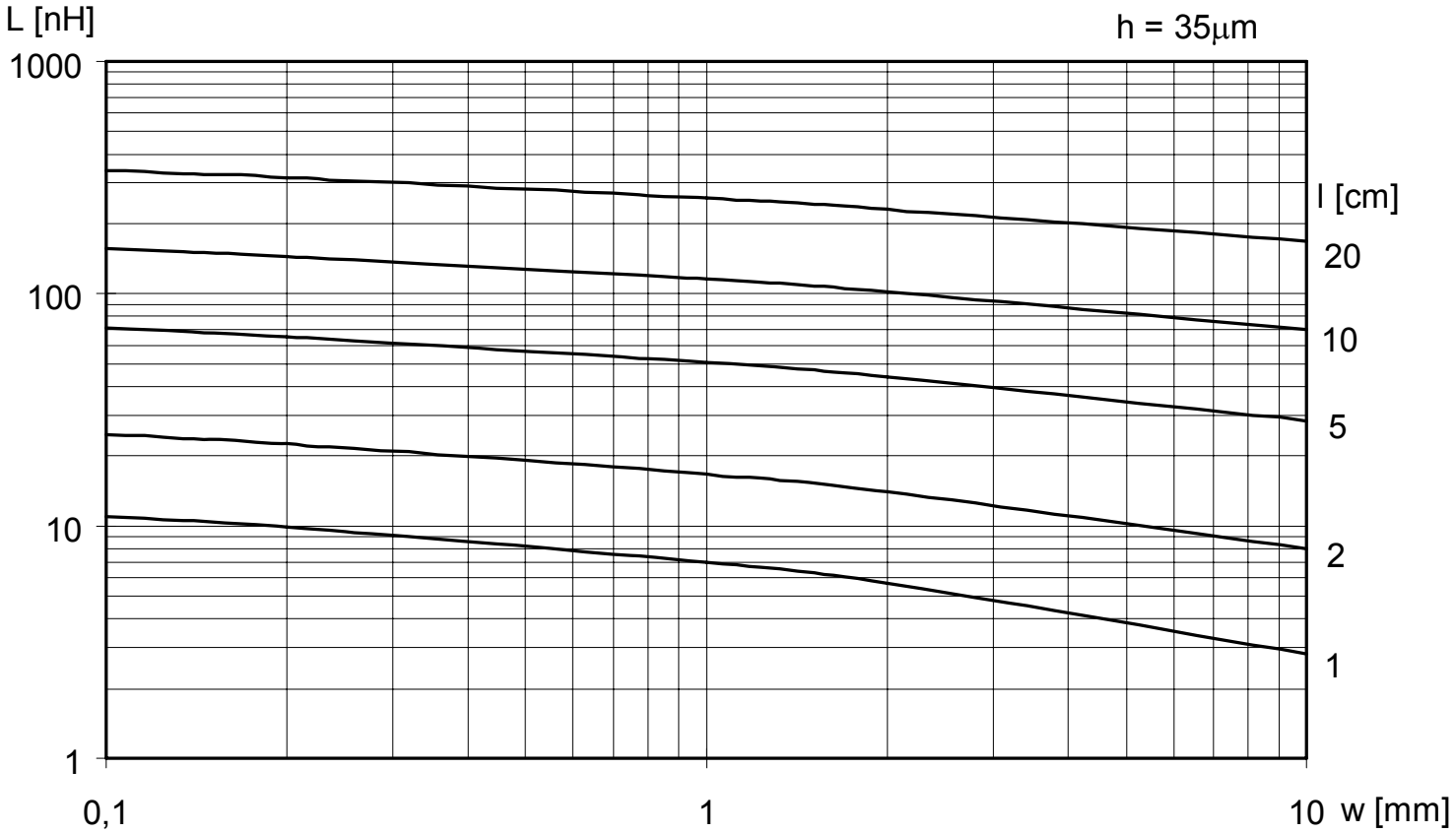
- induktivitet ovisi o geometriji tiskanog voda (odstupanje od pravca povećava induktivitet)
- induktivitet ravnog tiskanog voda:

$$L^* = \frac{L}{l} = 2 \cdot \left[\ln\left(\frac{20 \cdot l}{w + 0{,}001 \cdot h} \right) + 0{,}02235 \cdot \left(\frac{w + 0{,}001 \cdot h}{l} \right) + 0{,}5 \right]$$

$$L^* \left[nH / cm \right] ; \; l\left[cm \right]; \; w\left[mm \right]; h\left[\mu m \right]$$

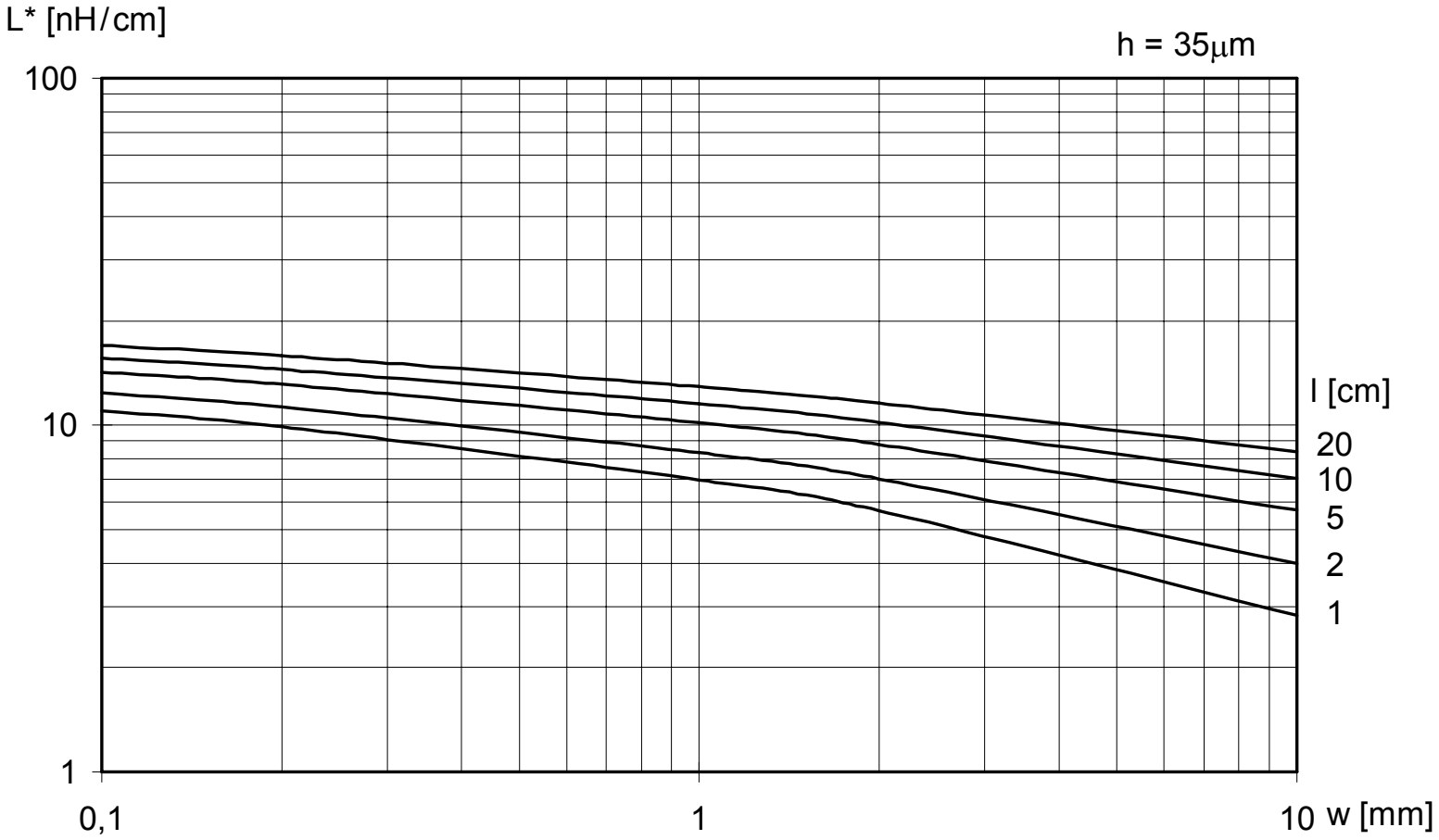
- neravni tiskani vod između krajeva zatvara površinu kroz koju se zatvaraju silnice vanjskih magnetskih polja i magnetskih polja prouzročenim protjecanjem struja kroz ostale vodove na tiskanoj pločici

Induktivitet tiskanog voda



Ovisnost induktiviteta **L** ravnog tiskanog voda o njegovoj širini **w** i duljini **l**, uz debljinu **h** bakrenog sloja

Specifični linijski induktivtet



Ovisnost specifičnog linijskog induktiviteta **L*** ravnog tiskanog voda o njegovoj širini **w** i duljini **l**, uz debljinu **h** bakrenog sloja

Induktivitet tiskanog voda

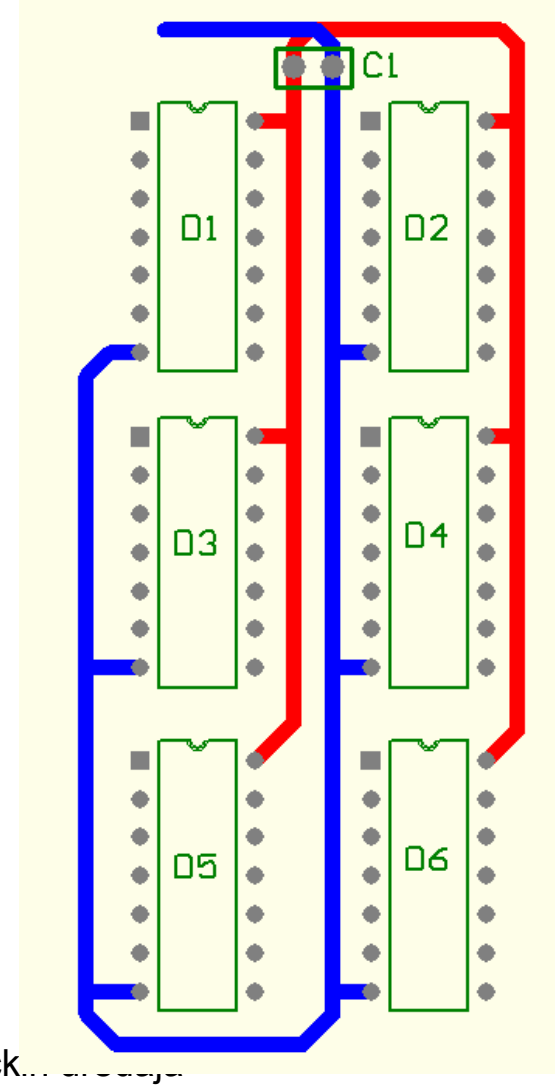
- primjer (neprikladno postavljen blokadni kondenzator C1):

  l_{pcb} = 150 mm, L ≈ 150 nH

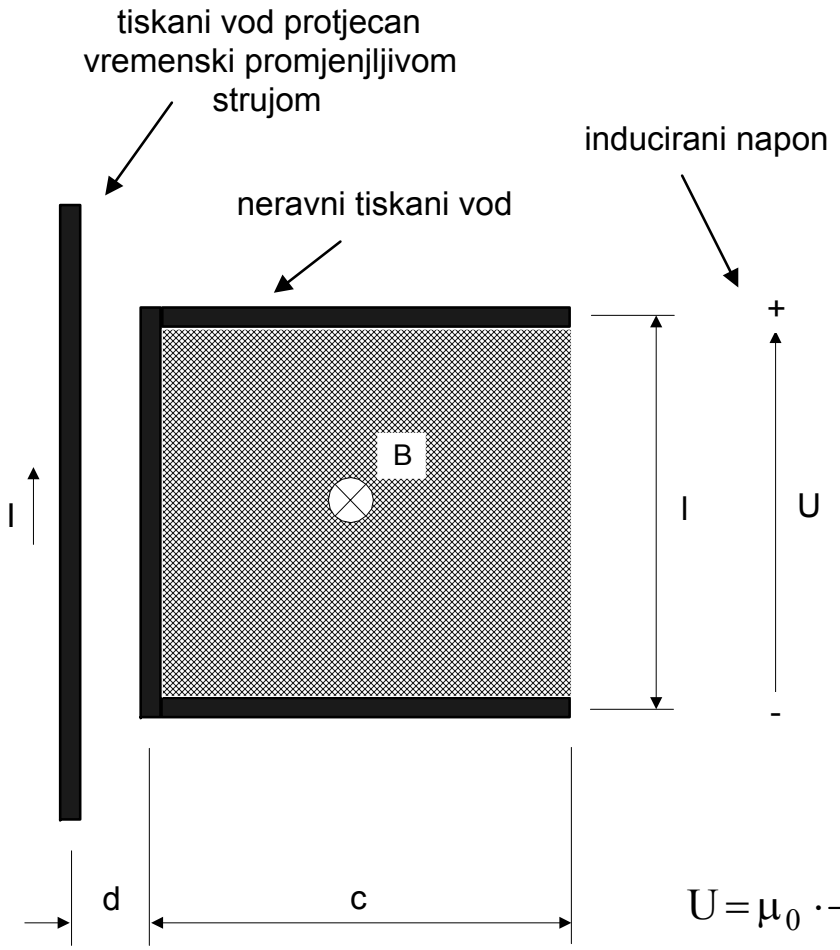
  npr. dI/dt = 50 mA / 5 ns

  $\Delta U_{cc}(D1) = L \cdot dI/dt = 1.5$ V!

- izvodi *through-hole* kondenzatora imaju induktivitet od približno 1 nH/mm duljine izvoda!
- SMD kondenzatori imaju značajno manji induktivitet izvoda



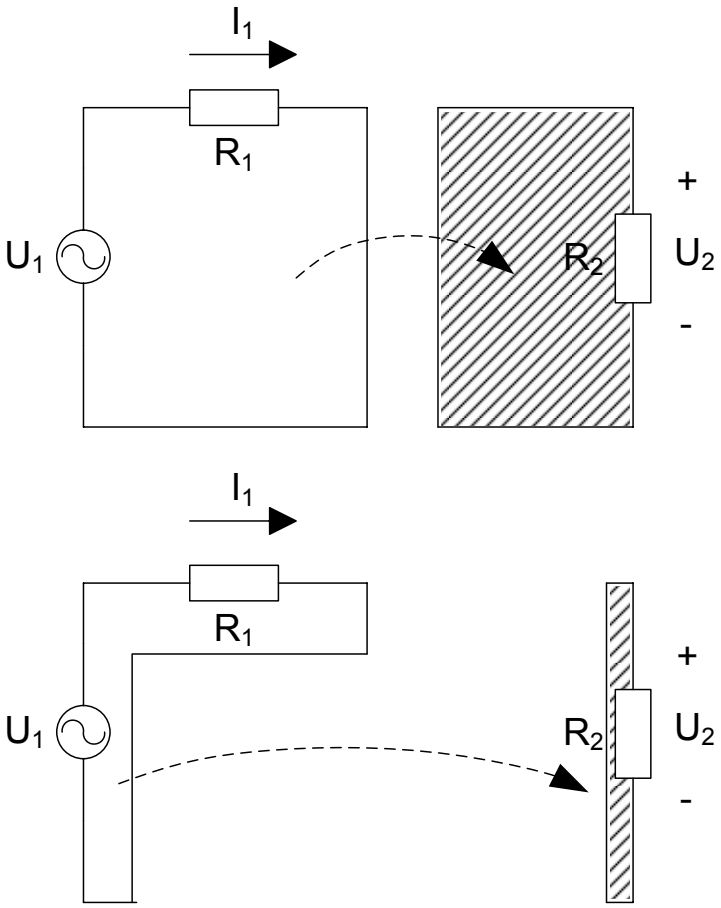
Induktivna sprega između vodova



Inducirani napon **U** na krajevima neravnog tiskanog voda kao posljedica protjecanja vremenski promjenjljivog magnetskog polja **B** (prouzročenog protjecanjem struje **I** susjednim tiskanim vodom) kroz površinu koju zatvara između svojih krajeva

$$U = \mu_0 \cdot \frac{l \cdot c}{2 \cdot \pi \cdot \left(d + \frac{c}{2}\right)} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad ; \text{ za: } d << \frac{c}{2} \Rightarrow \frac{\frac{U}{l}}{\frac{\Delta I}{\Delta t}} = 4\,\text{nH / cm}$$

Induktivna sprega između vodova



Preporučene debljine tiskanih vodova

- inčni raster *(imperial units)*:

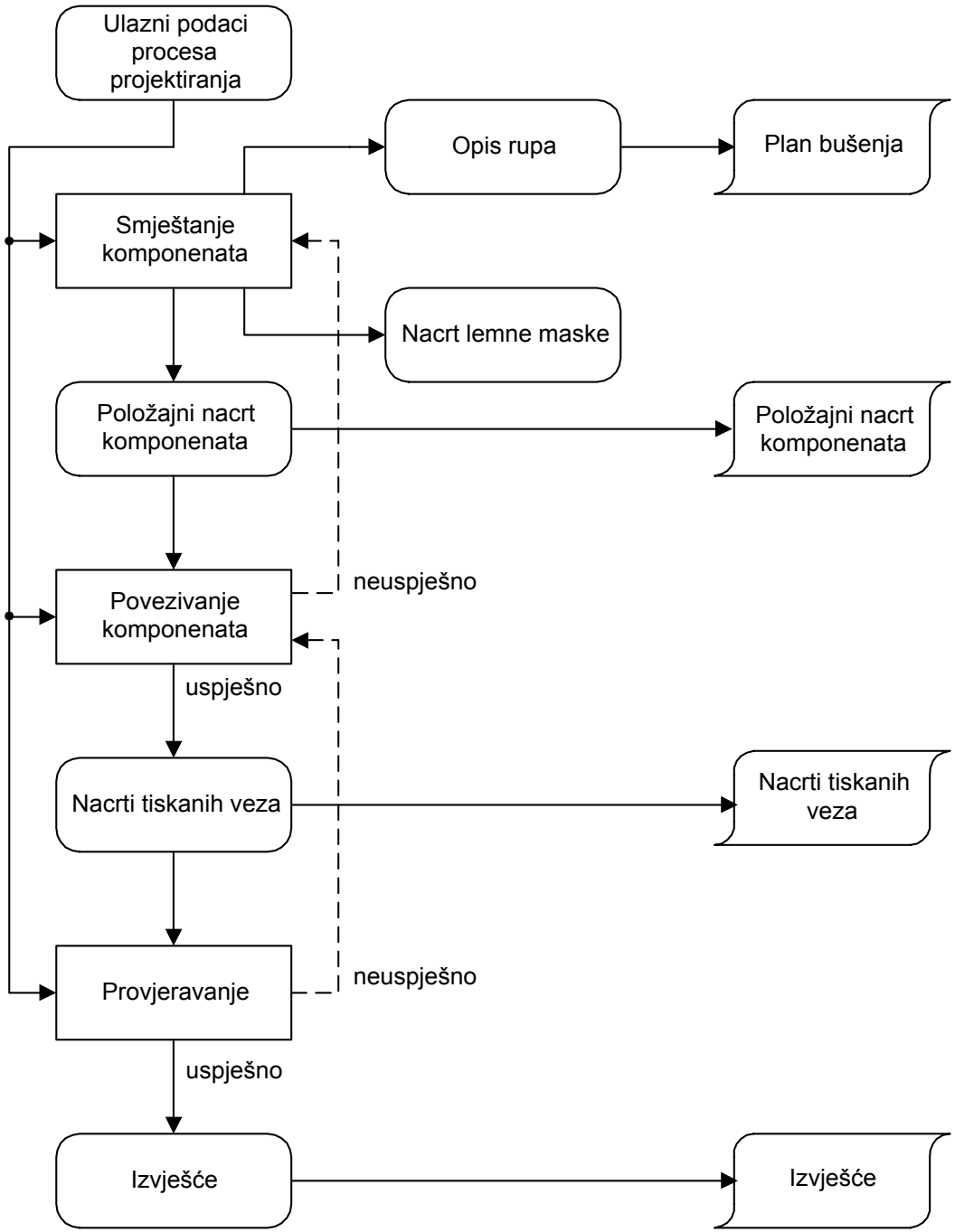
  1 mil = 1/1000 inča, 1 inč = 25.4 mm, 1 mil = 0.0254 mm

Tip voda	Preporučena širina		Specifični otpor R* [mΩ/cm]	Specifični kapacitet C* [pF/cm]	Specifični induktivitet L* [nH/cm]
	mil	mm			
signalni (tipično)	8 – 16 **(12)**	0,2 – 0,4 (0,3)	10	1	10
napajanje (tipično)	40 – 200 **(40)**	1 – 5 (1)	1	1	10
masa (tipično)	40 – 200 **(60)**	1 – 5 (1,5)	1	1	10

- linijski efekti (*transmission lines*):
  - digitalni sklopovi: $l < t_r\,,\ t_f\ ;\ l[\mathrm{cm}]\ ;\ t_r\,,\ t_f\,[\mathrm{ns}]$
  - analogni sklopovi: $l < \dfrac{300}{f_g}\ ;\ l[\mathrm{cm}]\ ;\ f_g = f_{-3\mathrm{dB}}\ [\mathrm{MHz}]$

8. Položajni nacrt komponenata

- projektiranje tiskane pločice – iterativni proces:
  1. smještanje komponenti *(placement)*
  2. povezivanje komponenti *(routing)*
- proces je završen kada su realizirane sve tiskane veze u skladu s električkom shemom (spojna lista - *netlist*) i zahtjevima postupka projektiranja (električki, mehanički, termički i dr.)
- na kraju – provjera ispravnosti povezivanja (*Design Rule Check – DRC*)
- rezultat: nacrti maski za selektivne zahvate na tiskanoj pločici tijekom tehnološkog procesa njene izrade
- sve se crta u mjerilu, **gledano sa strane komponenata**, po rasteriziranoj površini


Ulazni podaci procesa projektiranja
Opis rupa
Plan bušenja
Smještanje komponenata
Nacrt lemne maske
Položajni nacrt komponenata
Položajni nacrt komponenata
neuspješno
Povezivanje komponenata
uspješno
Nacrti tiskanih veza
Nacrti tiskanih veza
neuspješno
Provjeravanje
uspješno
Izvješće
Izvješće

Položajni nacrt komponenata

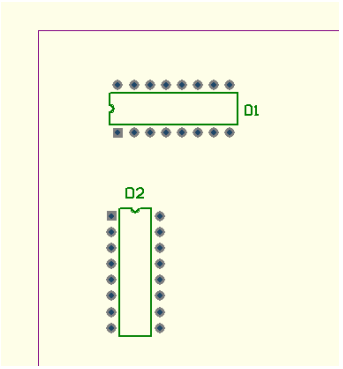
- predloženi postupak smještanja komponenata:
  - proučiti električke, mehaničke i toplinske zahtjeve
  - odrediti dimenzije pločice i način učvršćenja
  - komponente predodređene mehaničkom konstrukcijom
  - komponente za podešavanje (trimeri, promjenjivi kondenzatori i sl.)
  - disipativne komponente
  - podjela komponenata na analogni i digitalni dio
  - podjela komponenata prema radnoj frekvenciji
  - najprije smjestiti najosjetljvije komponente, a zatim preostale
  - od složenijih prema jednostavnijim
  - pratiti put signala
- nastojati ravnomjerno iskoristiti cijelu površinu tiskane pločice, uz maksimizaciju efektivne gustoće komponenti

Položajni nacrt komponenata

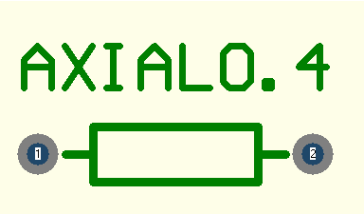
- smještanje komponenti:
  - ručno
  - poluautomatski (alati za poravnavanje i jednostavne algoritme raspoređivanja komponenti)
  - automatski (*autoplacement*)
- maske za tehnološko procesiranje
  - oznake komponenata otiskuju se tehnikom sitotiska na zaustavnom laku (*silkscreen layers*)
  - *top overlay* – komponentna strana pločice
  - *bottom overlay* – lemna strana pločice (vidi se zrcaljeno!)

Preporuke za smještanje komponenata

- koristiti grublju rasterizaciju (50 – 100 mils)
- komponente pravokutnog tlocrta orijentirati usporedo s rubovima pločice:

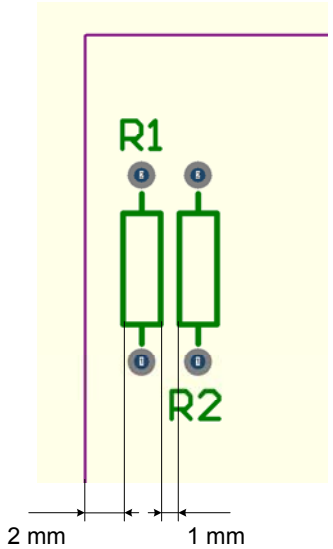


- komponente s osnim izvodima (*axial*) predvidjeti za vodoravnu ugradnju:

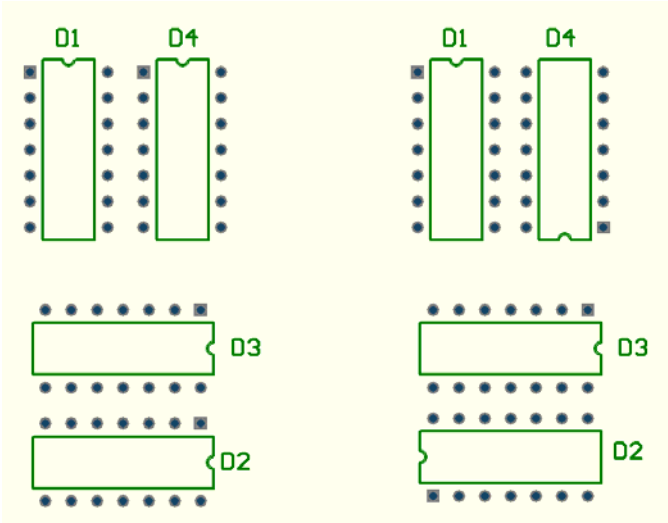


Preporuke za smještanje komponenata

- razmaknuti komponente 2 mm od ruba pločice i 1 mm međusobno
- komponente se **ne smiju** međusobno preklapati



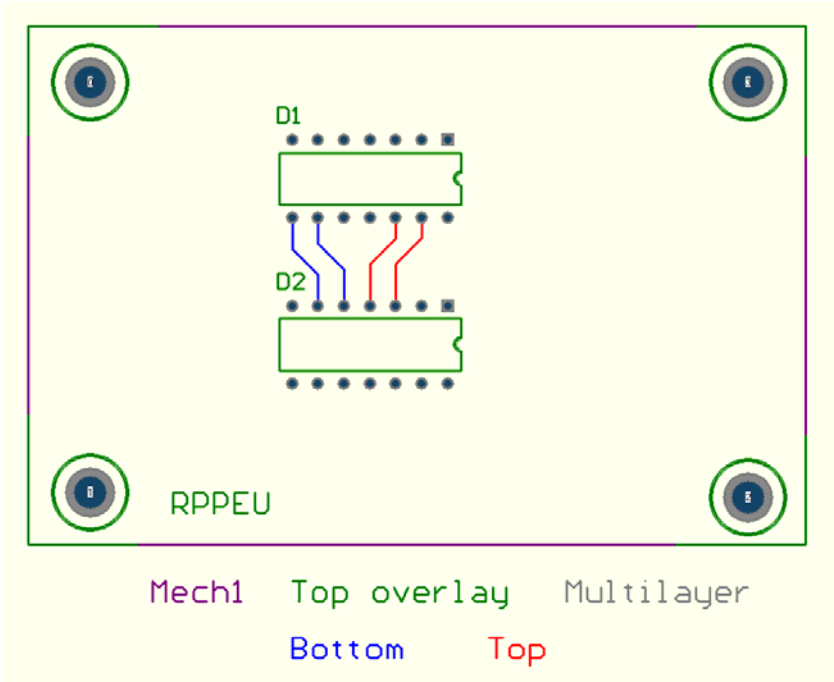
- istovrsne komponente (npr. DIL, *dual-inline* kućišta) postaviti u istom smjeru s istom orijentacijom:



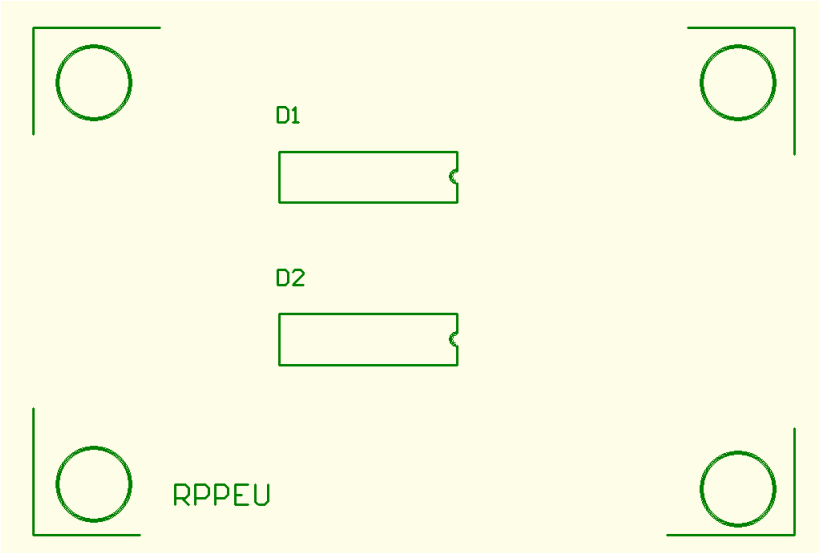
dobro loše

Preporuke za smještanje komponenata

- ucrtati obrise rubova pločice (*Mech1*), rubove (*silkscreen*), tekstualnu oznaku za ispravnu orijentaciju maske
- predvidjeti vijke za pričvršćivanje (Φ = 3.2 mm)



projektirana tiskana pločica

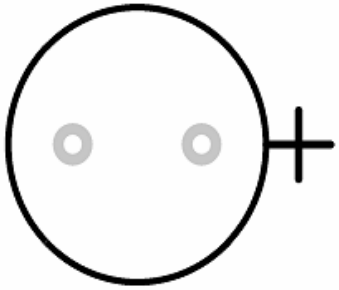


položajni nacrt komponenata (samo *top silkscreen*!)

Najčešće korištena kućišta komponenata

AXIAL0.4

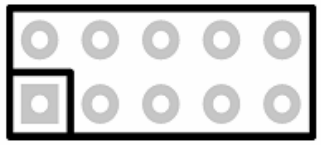
DIODE0.4



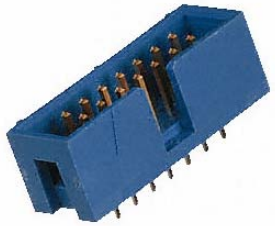
RB0.2 / 0.4

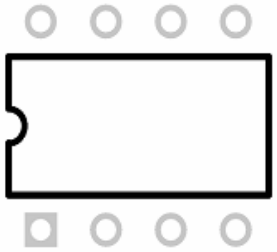
RAD0.2

SIP4

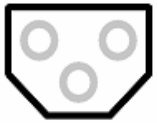


IDC10





DIP8



TO – 92A

9. Nacrt(i) tiskanih veza

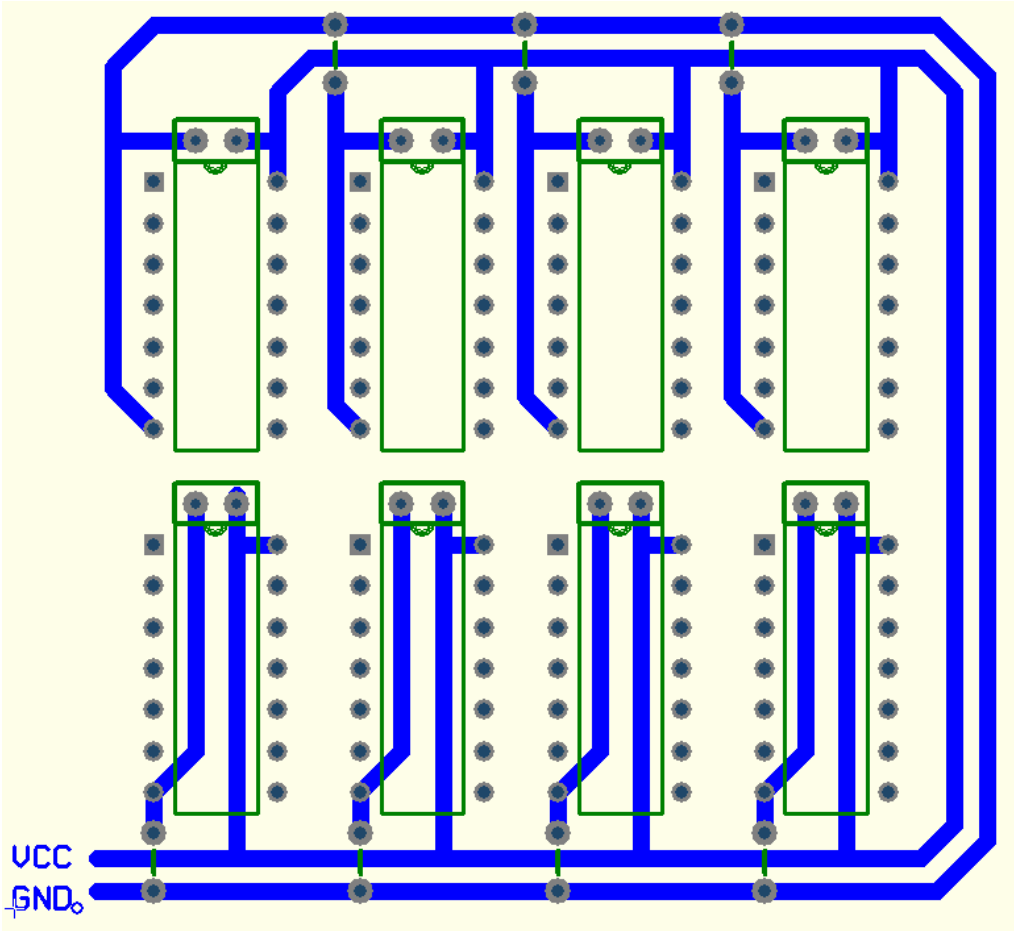
- projektiranje maski za tehnološko procesiranje vodljivih slojeva na tiskanoj pločici
- u programima će se raditi isključivo:
  - jednostrane pločice (s kratkospojnicima)
  - dvostrane pločice (uz korištenje prospoja *(via))*
  - *koristiti through-hole komponente*
- voditi računa o:
  - vrijednostima parazitnih parametara
  - strujno-naponskim odnosima
  - toplinskim svojstvima lemnih mjesta
- minimalne ostvarive dimenzije vodljivih likova – funkcija proizvodnog procesa:
  - izražava se kao odnos min. debljine vodljivog lika/min. razmak (npr. 6 mil/6 mil)

Preporučene debljine tiskanih vodova

- naprije se postavljaju vodovi mase i napajanja, zatim kritični vodovi (osjetljivi analogni, brzi digitalni i sl.), a na kraju svi preostali vodovi
- u programima se preporučuju sljedeće vrijednosti:
  - signalni vodovi: 12 mila
  - napajanje: 40 mila
  - masa: 60 mila
  - razmak između vodova: 12 mila
- proračunati U/I prilike i prilagoditi navedene mjere u slučaju potrebe

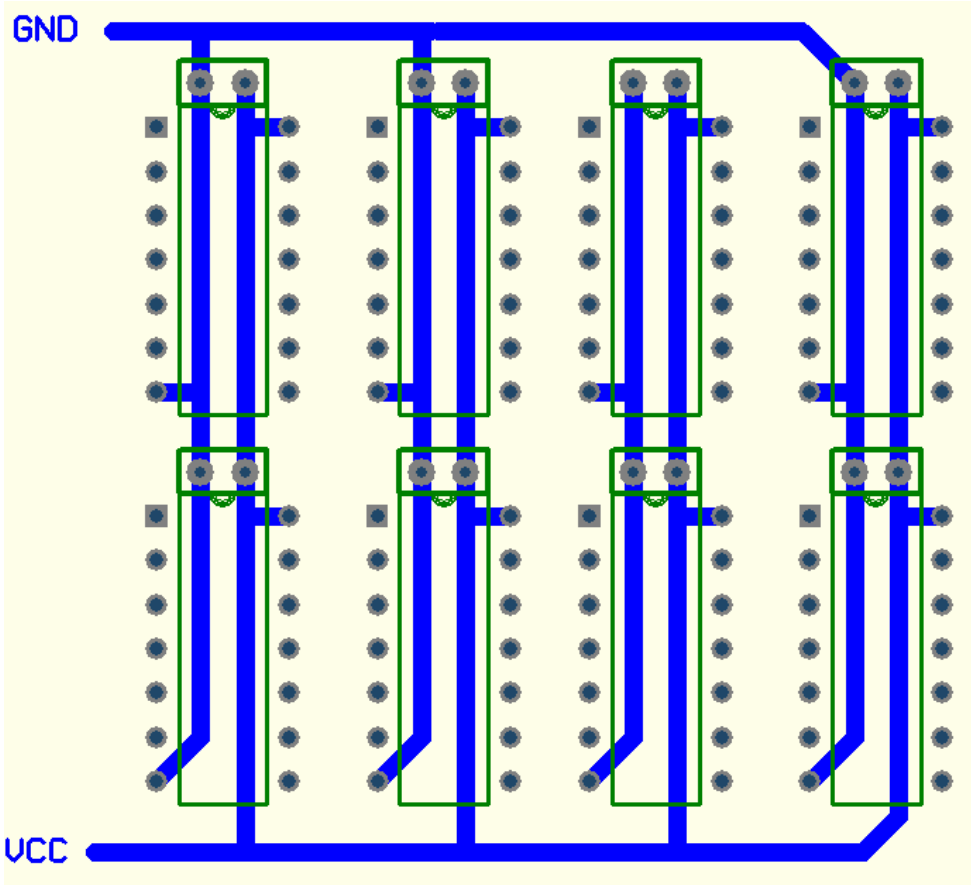
Razvođenje napajanja

- jednostrana tiskana pločica:



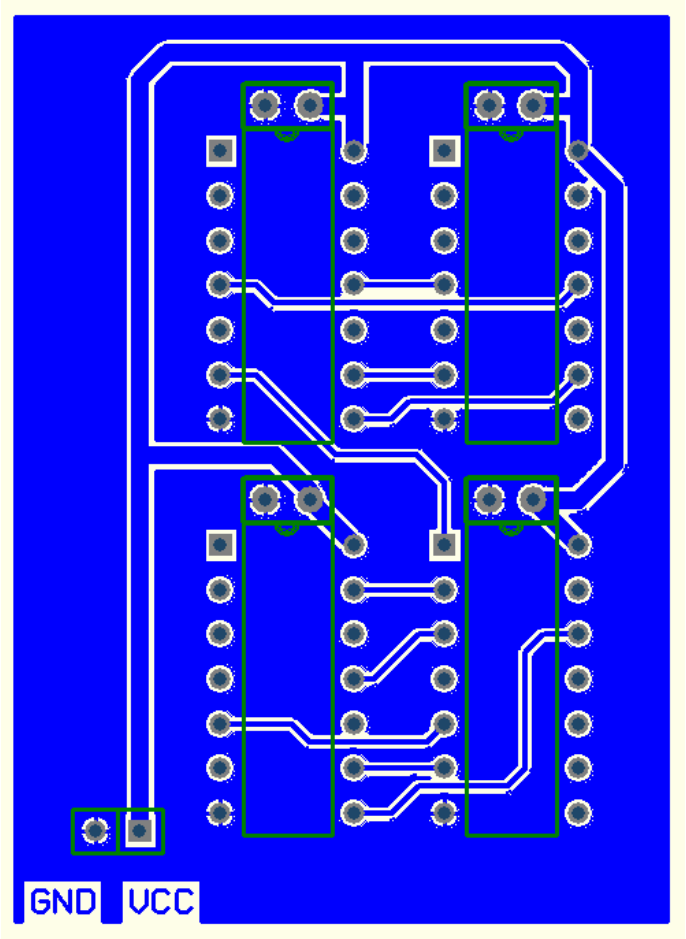
Razvođenje napajanja

- jednostrana tiskana pločica - loše rješenje (velika površina strujnih petlji)



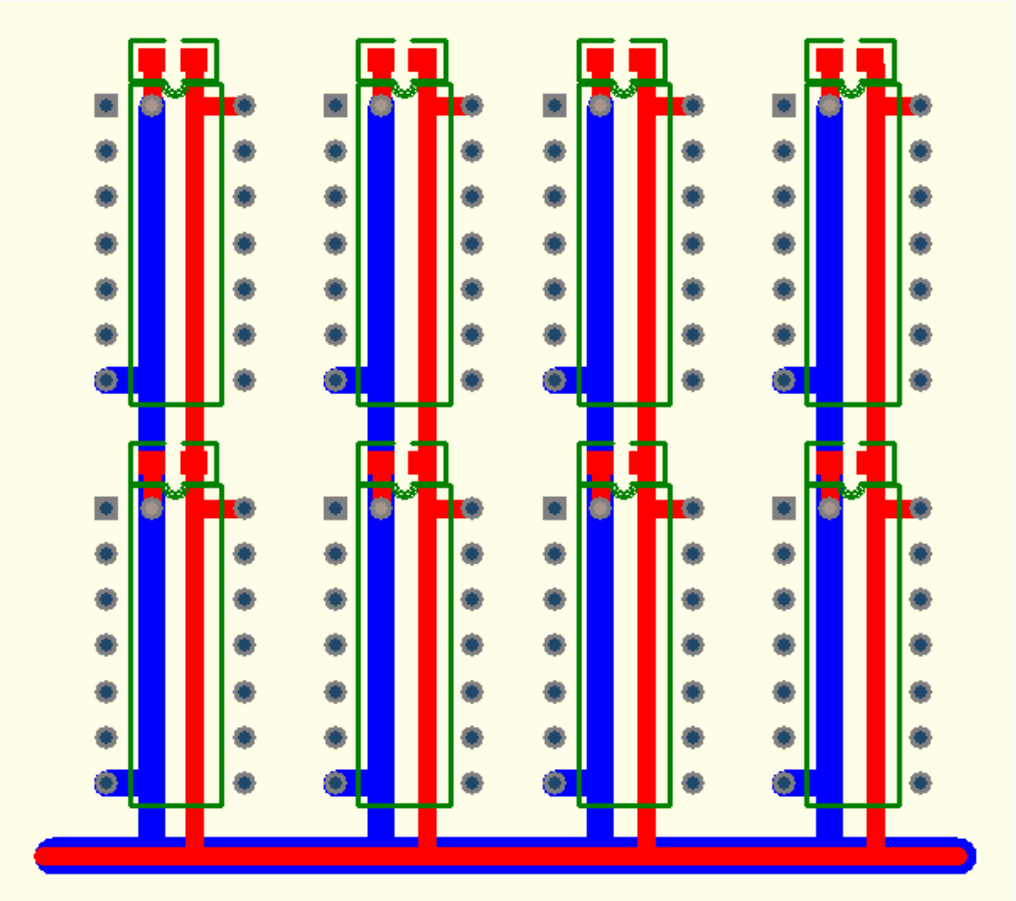
Razvođenje napajanja

- ispuna masom (*polygon plane*):



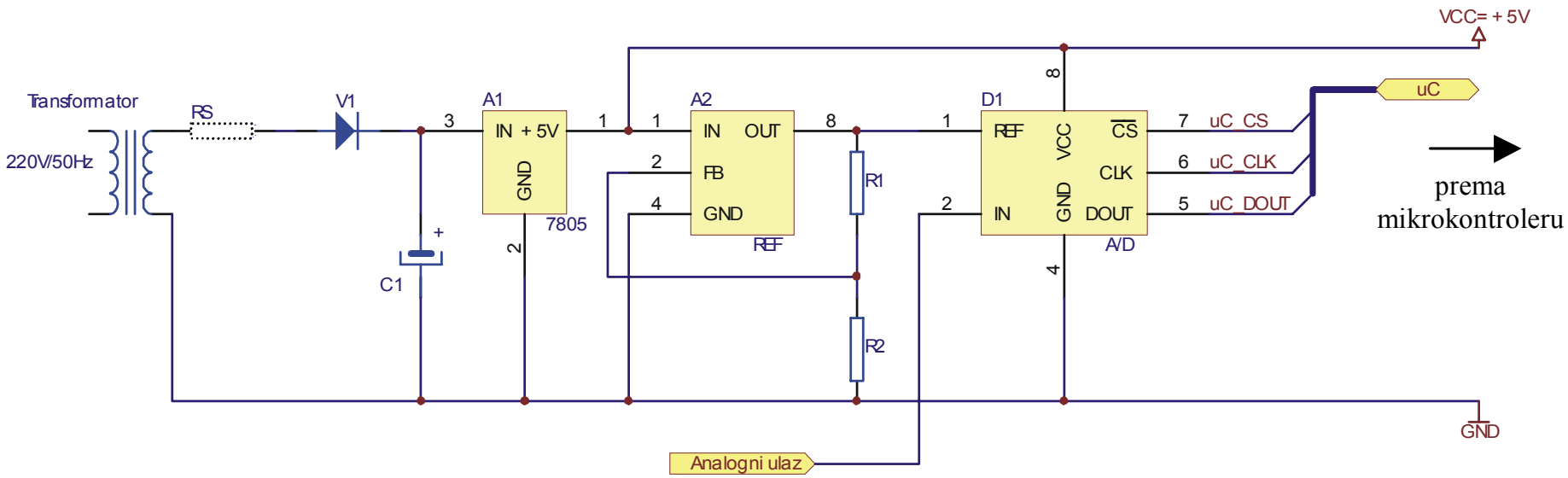
Razvođenje napajanja

- dvostrana tiskana pločica:

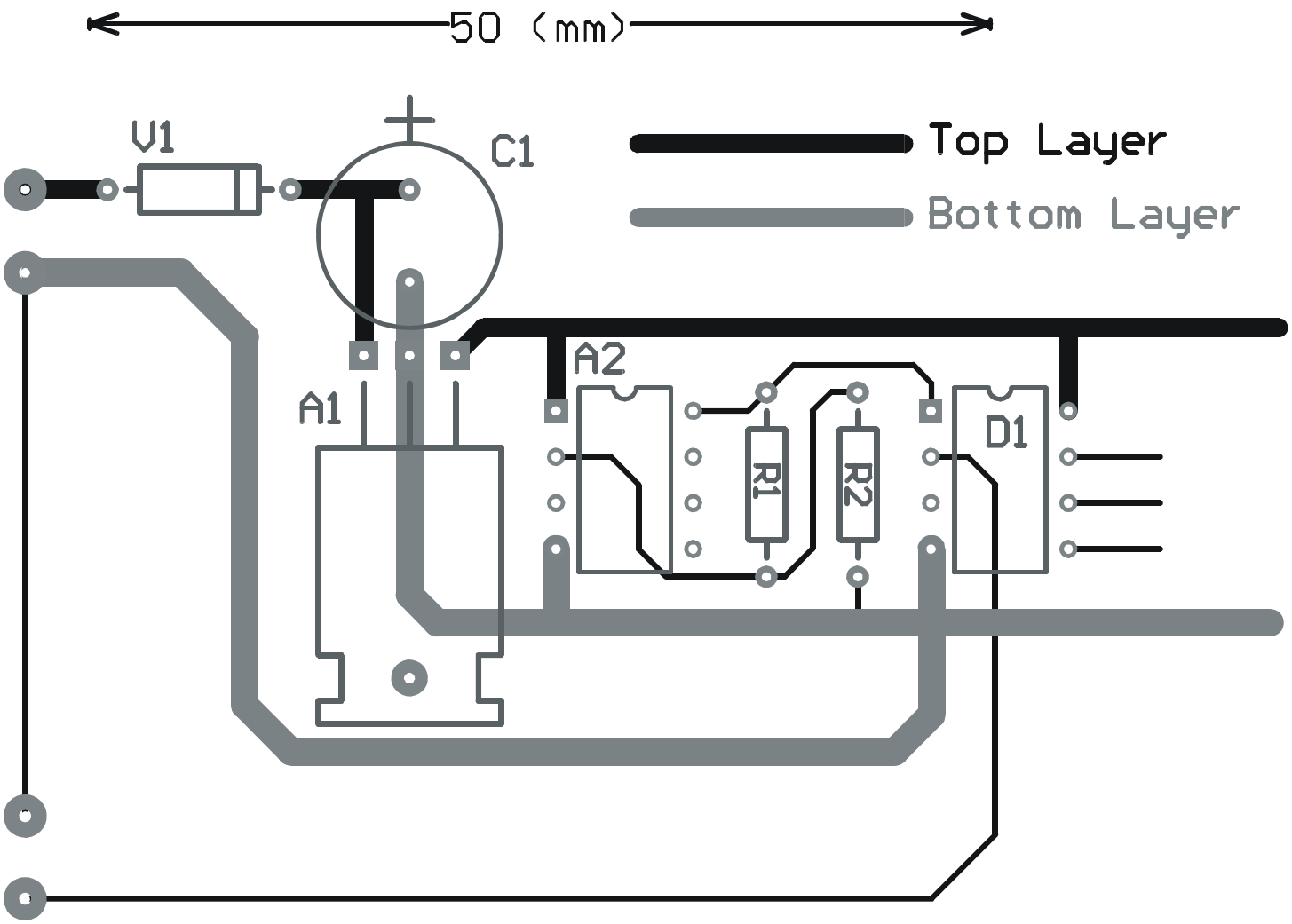


Smetnje zajedničke impedancije

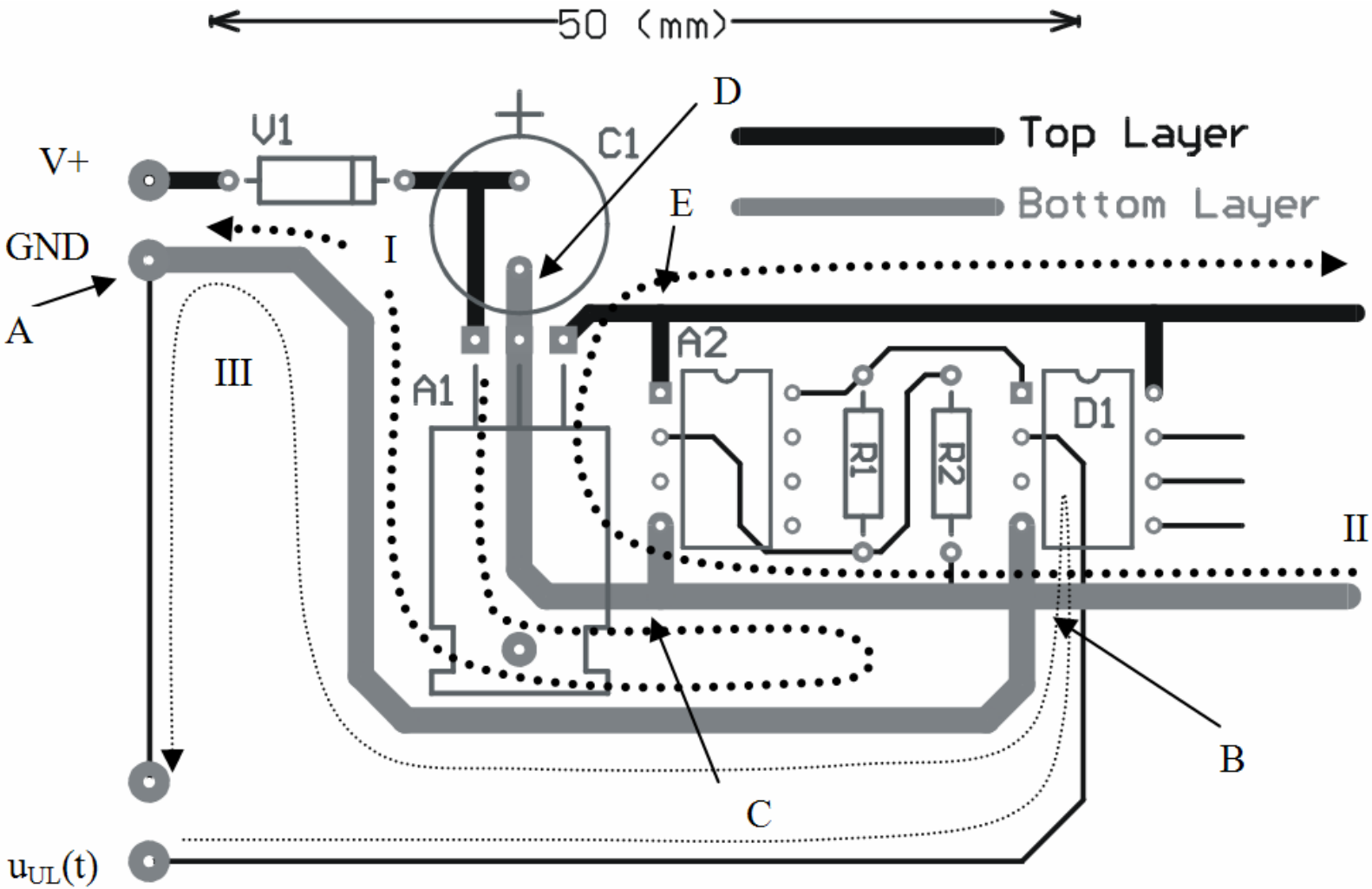
- tiskani vodovi imaju konačnu impedanciju
- poseban problem predstavlja impedancija mase, jer se sve struje zatvaraju kroz vodove mase
- primjer:



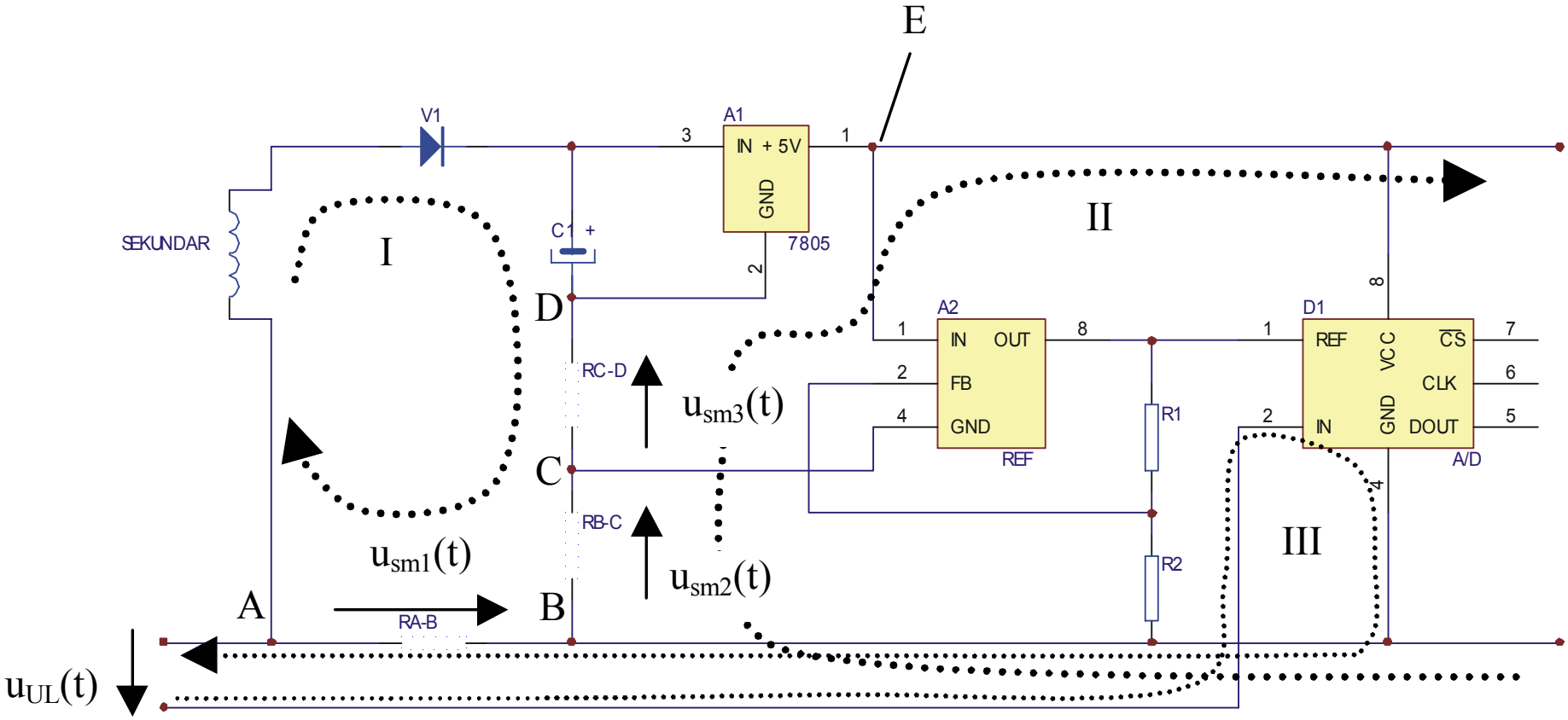
Smetnje zajedničke impedancije



Smetnje zajedničke impedancije

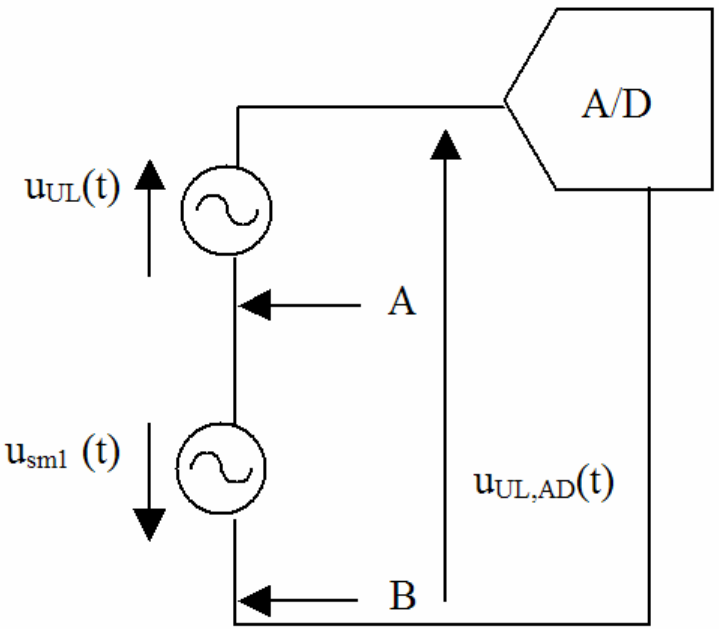


Smetnje zajedničke impedancije



Zajednička impedancija segmenta A-B

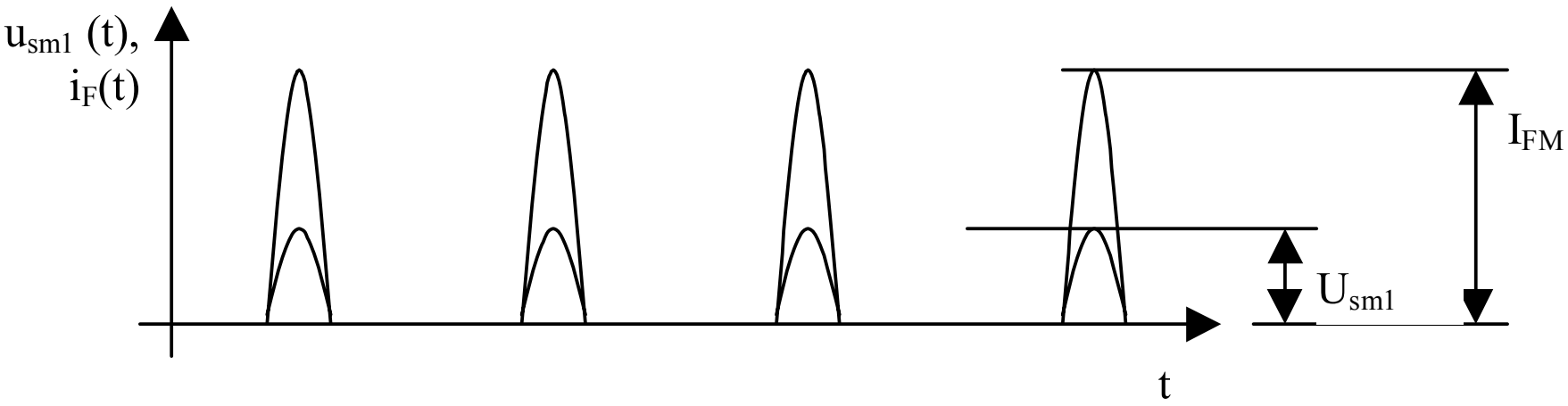
- utjecaj smetnji zajedničke impendancije na mjerenje ulaznog napona



- $u_{UL}(t)$ – ulazni (mjereni) napon
- $u_{sm1}(t)$ – napon smetnje uslijed impulsnih struja nabijanja kondenzatora na segmentu A – B
- $u_{UL,AD}(t)$ – napon na ulazu A/D pretvornika

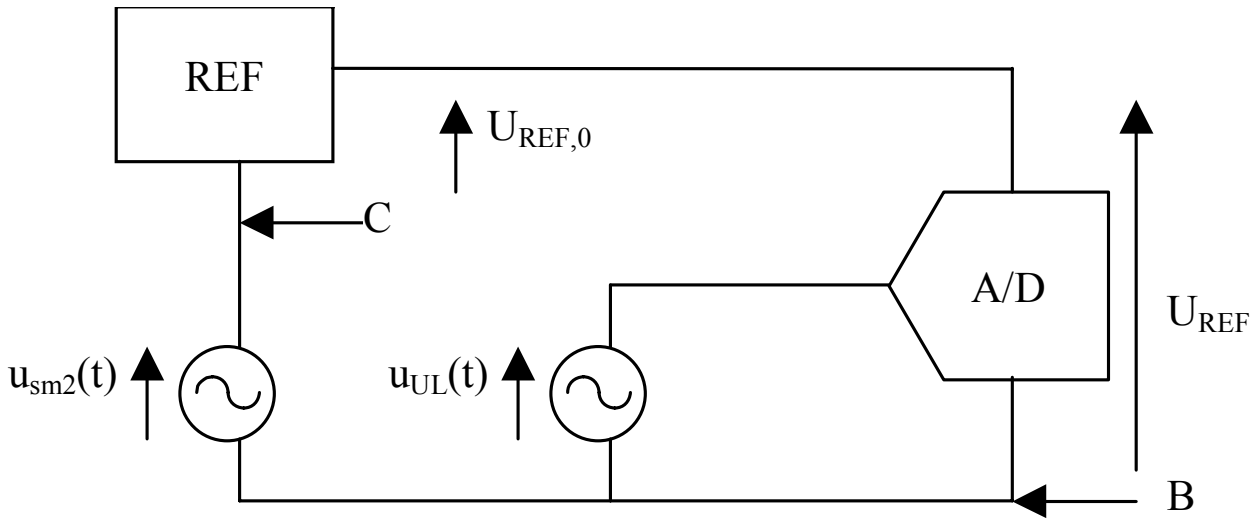
Zajednička impedancija segmenta A-B

- valni oblik napona smetnje $u_{sm1}(t)$ na segmentu A-B uslijed impuslnih struja nabijanja kondenzatora

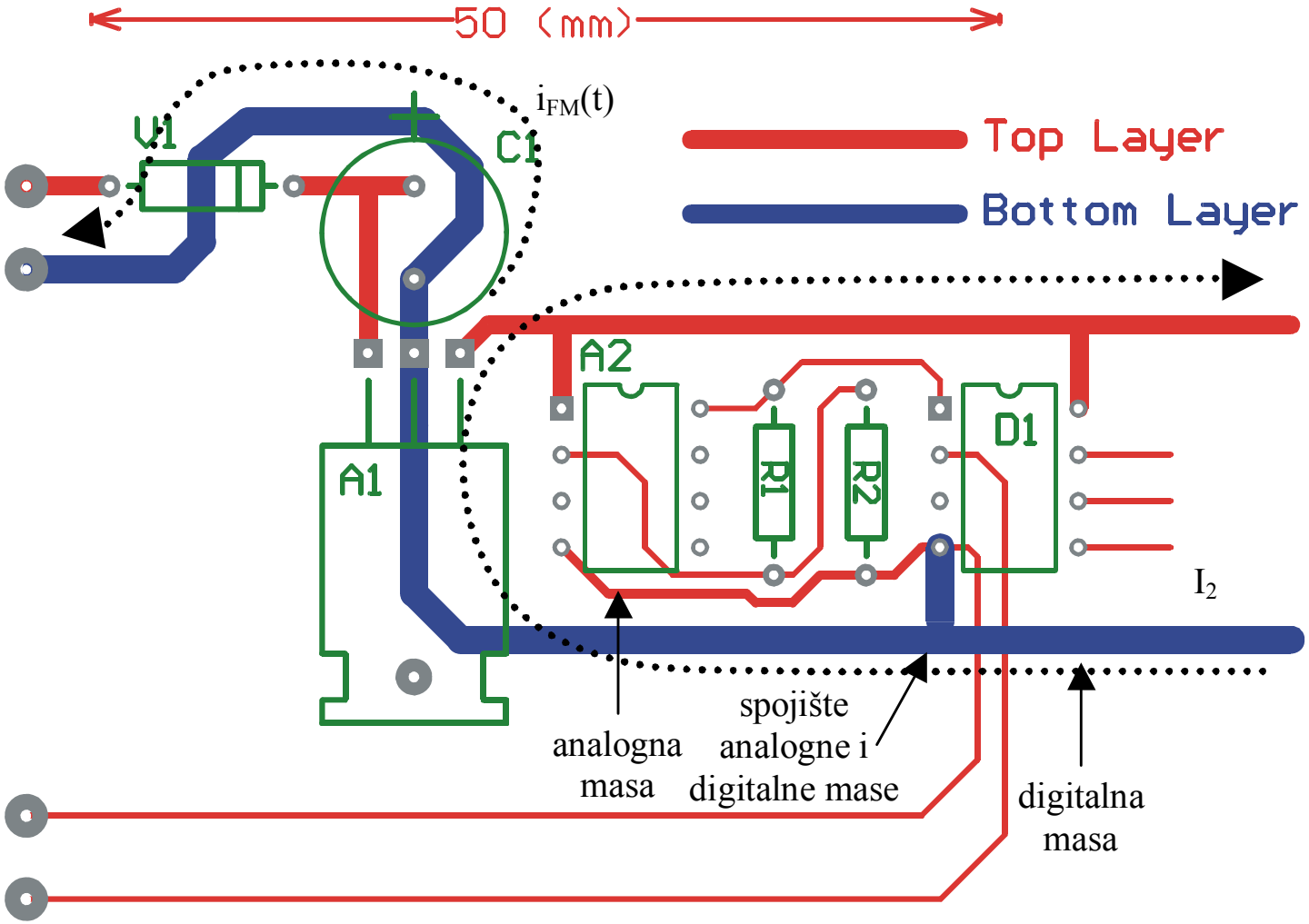


Zajednička impedancija segmenta B-C

- utjecaj razlike potencijala referentnih točaka čipova na iznos referentnog napona A/D pretvornika

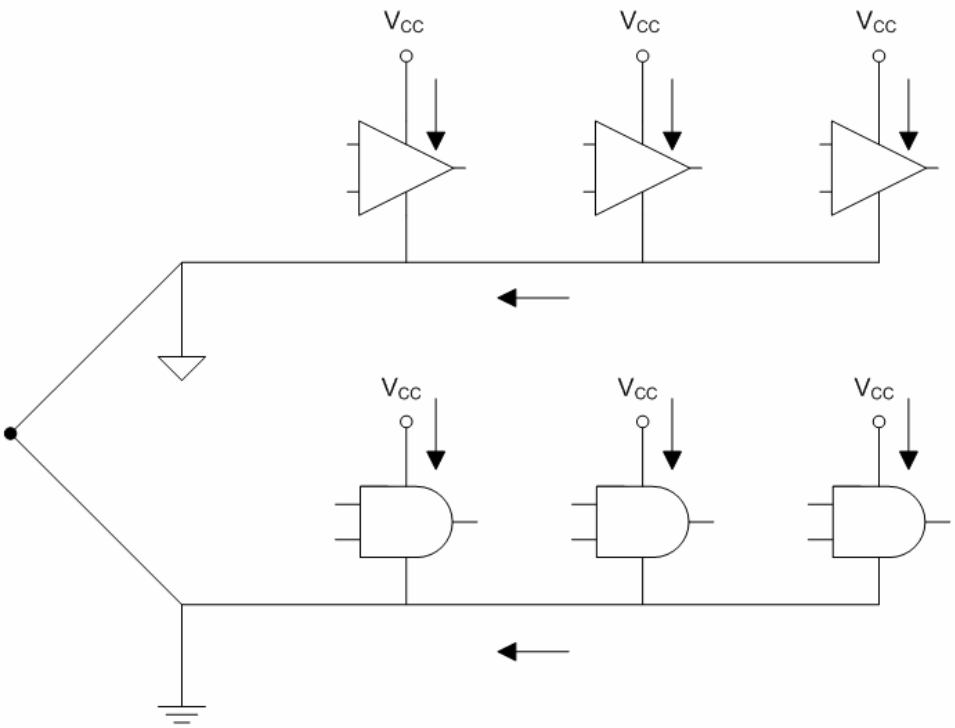


Ispravna topologija



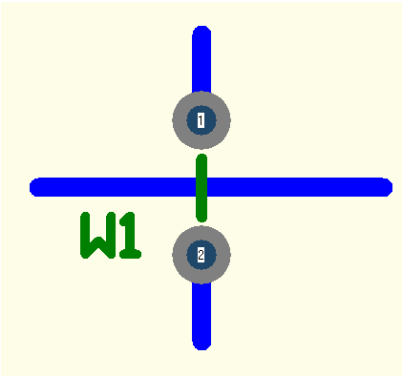
Analogna i digitalna masa

- zbog smetnji zajedničke impedancije razdvojiti analognu i digitalnu masu i spojiti ih u **jednoj točki** (masa izvora napajanja, A/D pretvornika ili *mixed-signal* MCU-a)

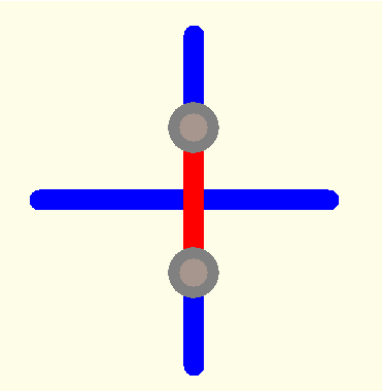


Križanje vodova

- jednostrane pločice – kratkospojnici:

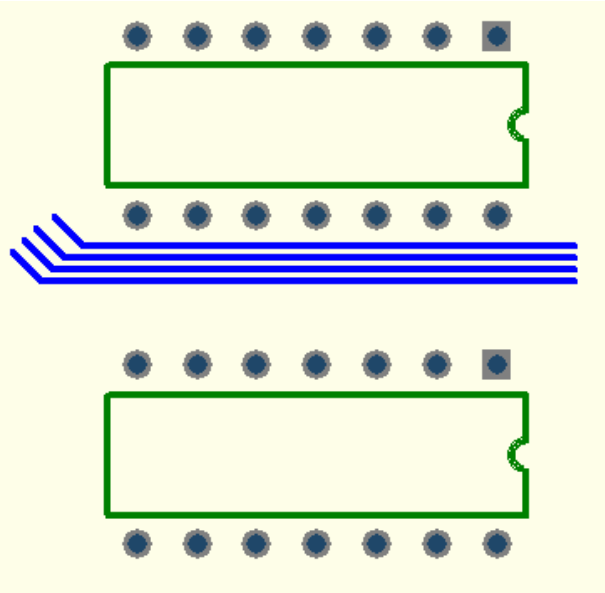


- dvostrane pločice – prospoji *(vias)*:

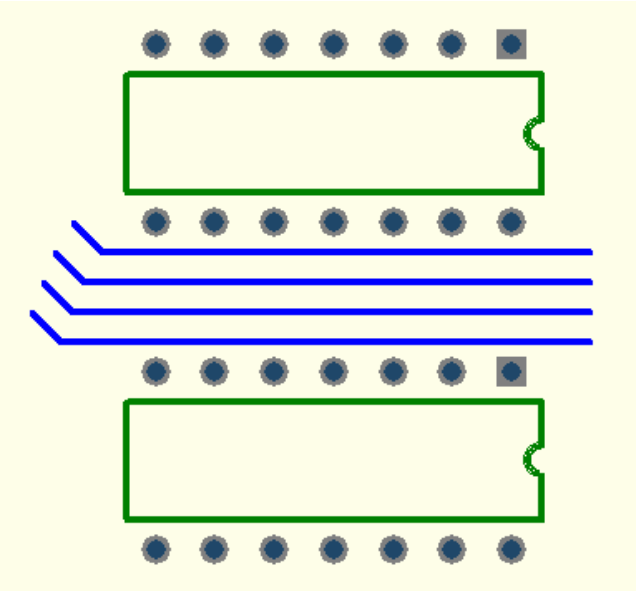


Ravnomjerno raspoređivanje vodova

- kod postavljanja vodljivih veza nastojati maksimalno iskoristiti površinu pločice:



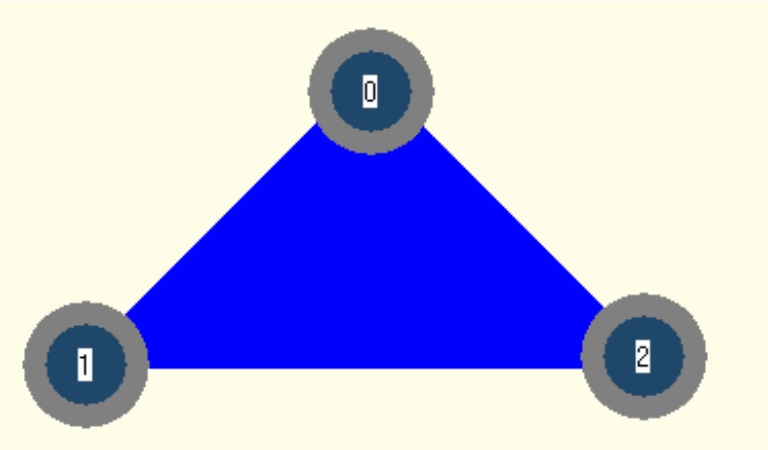
loše



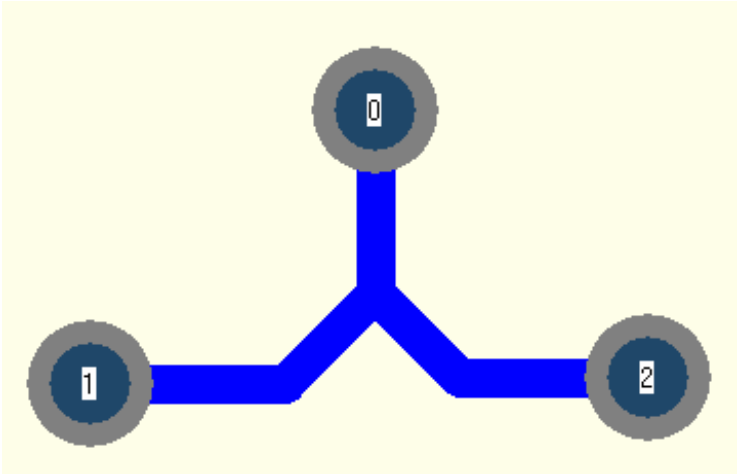
dobro

Izbjegavati velike lemne površine

- mogućnost nastanka hladnog lema:

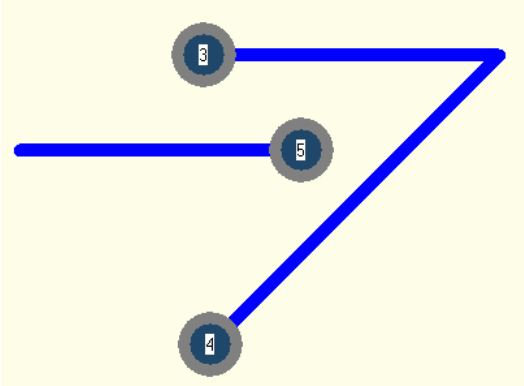


loše

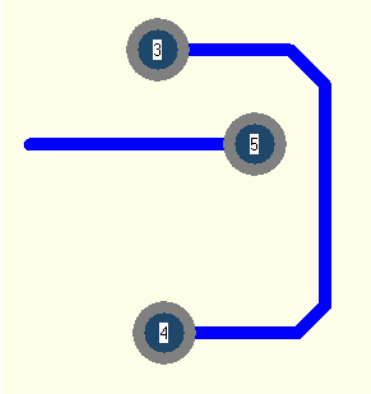


dobro

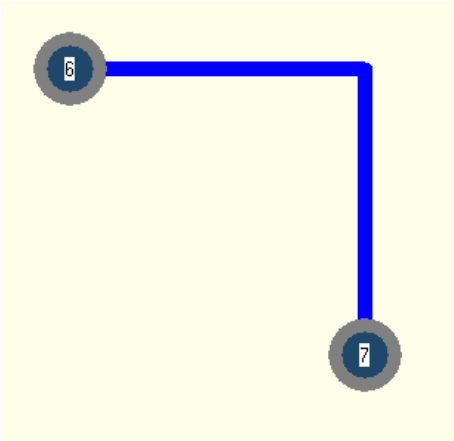
Izbjegavati šiljke i prave kutove

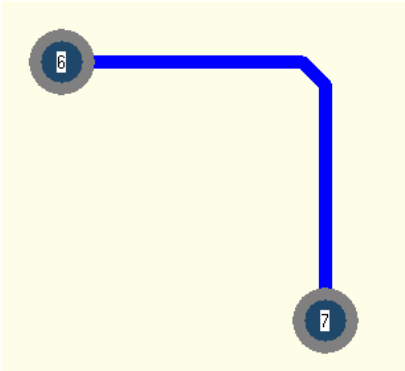


loše

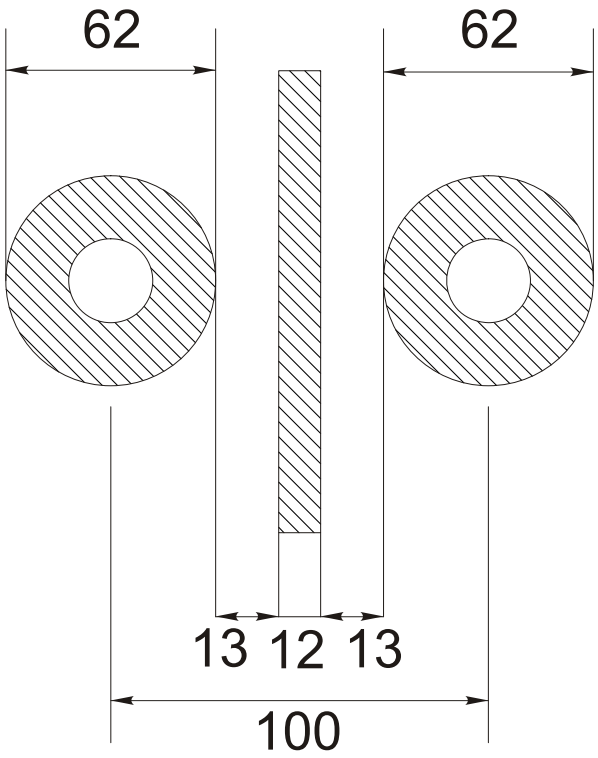


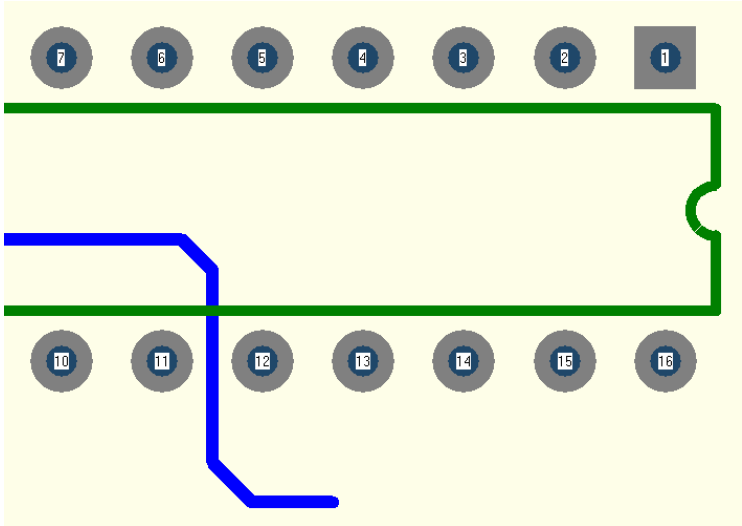
dobro



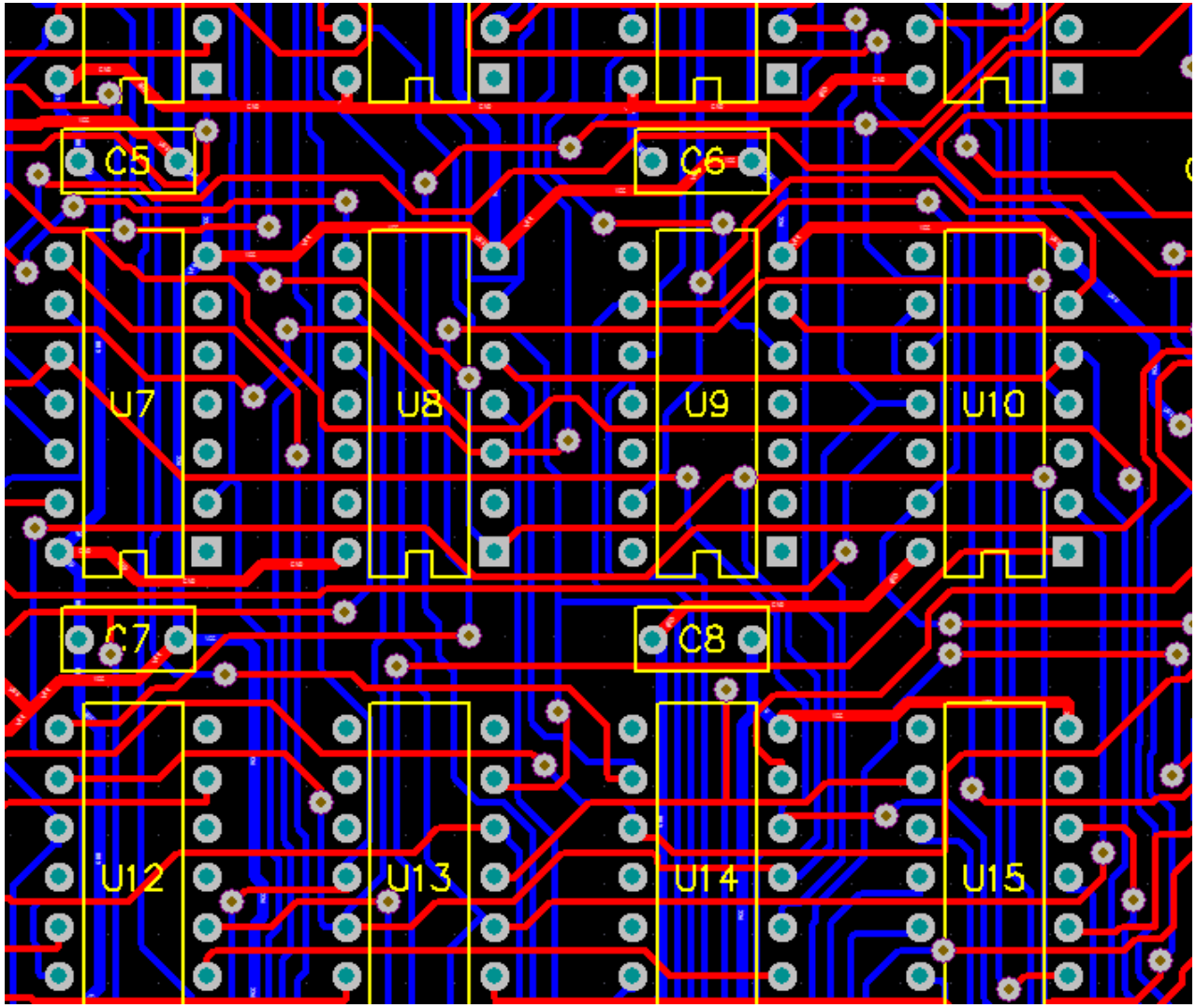


Provlačenje vodova između izvoda DIL (*dual in-line*) kućišta



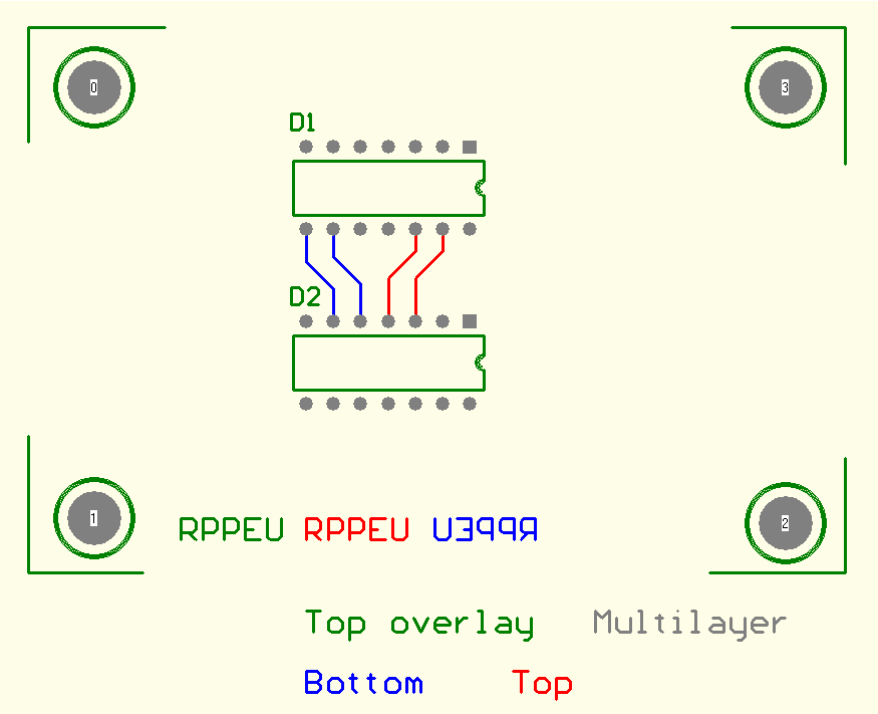


X-Y *bias*

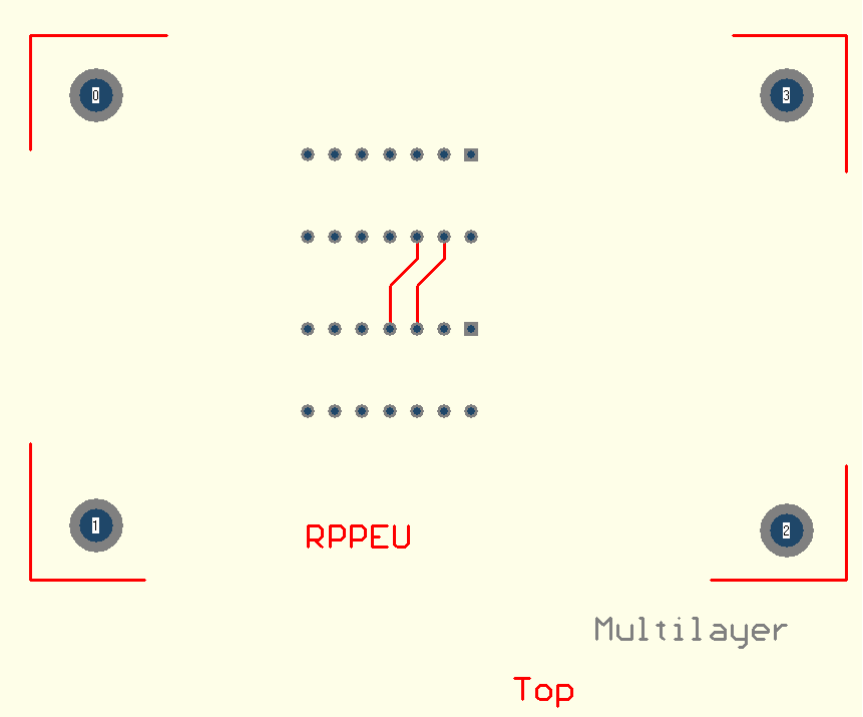


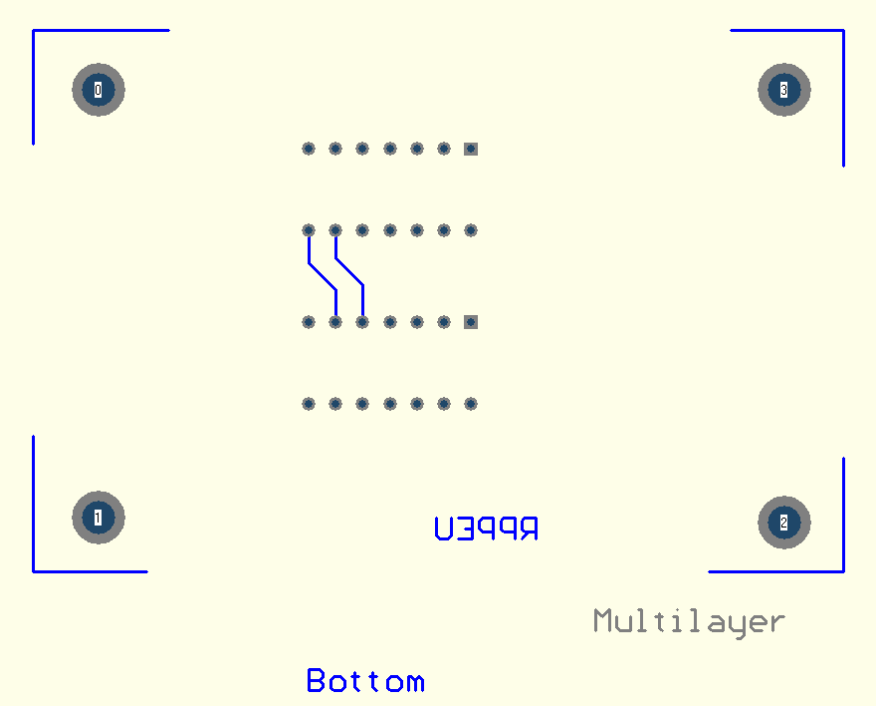
Nacrt tiskanih veza

- svi slojevi crtaju se gledano s komponentne strane pločice
- kod izrade maski – uz sloj s vodljivim likovima (*top, bottom*) uključiti i *multilayer*



Nacrt tiskanih veza





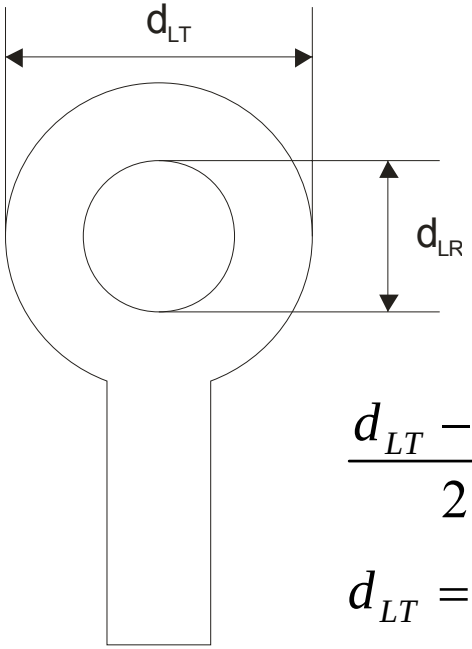
komponentna strana (*top*)

lemna strana (*bottom*)

- oznaka dimenzija pločice – ne po cijelom rubu, jer će to smetati kod rezanja (bakar)!

Prilagodba lemnih točaka

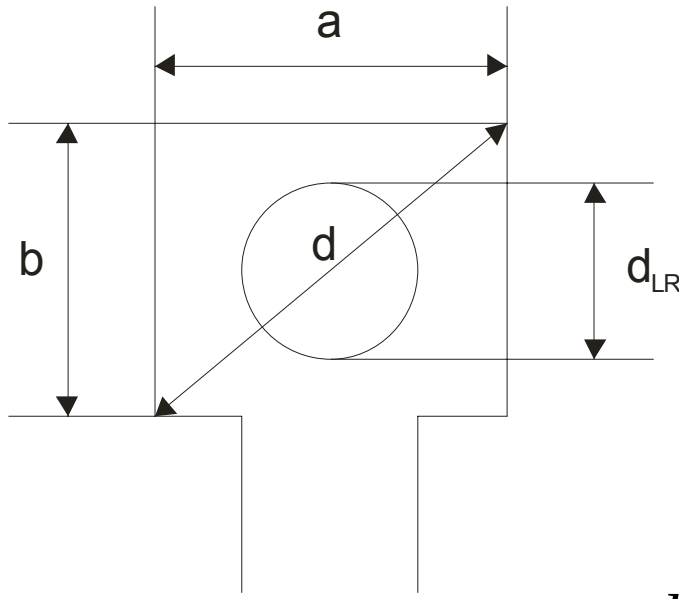
- promjer izvoda komponente d_I
- jednoliko odvođenje topline prilikom lemljenja oko lemne rupe



$$d_{LR} \geq d_I + 0.1\ \mathrm{mm}$$

$$\frac{d_{LT} - d_{LR}}{2} \geq 0.3\ \mathrm{mm}$$

$$d_{LT} = 2 \cdot d_{LR}$$



$$d = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$d_{LT} \cong \frac{a + d}{2}$$

Lemne točke kod izrade maske vodljivih slojeva

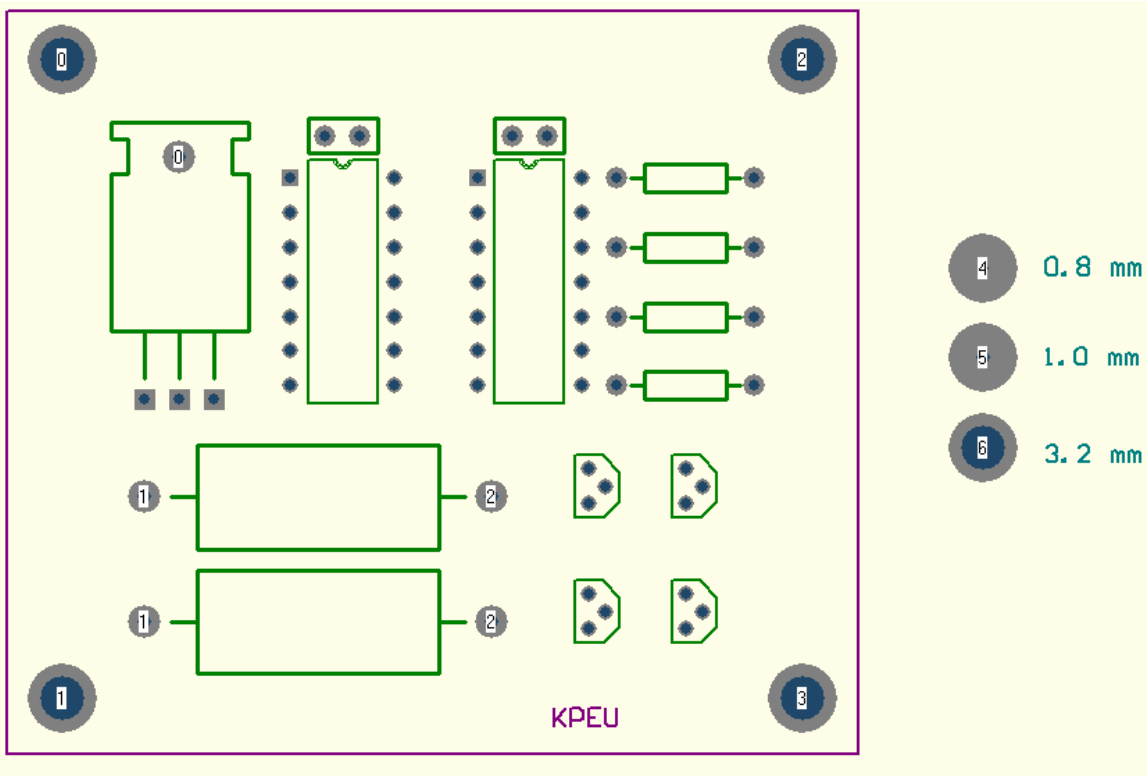
- kod ručnog bušenja na maski za izradu vodljivih likova treba ostaviti rupe (radi lakšeg ručnog pozicioniranja vrha svrdla)
- za strojno bušenje lemne točke ostavljaju se zapunjene (kako ne bi došlo do savijanja i pucanja svrdla)

lemne točke za ručno bušenje

lemne točke za strojno bušenje

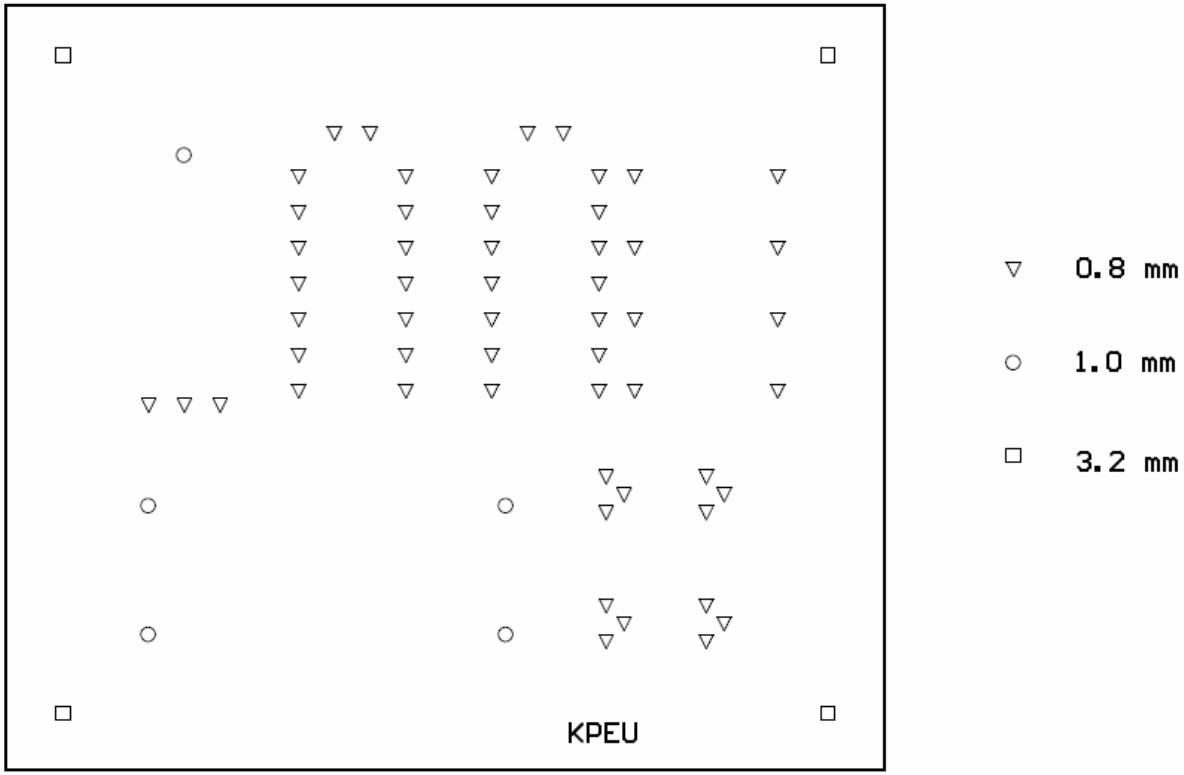
10. Plan bušenja

- nacrt položaja i promjera svih rupa na tiskanoj pločici
- primjer jednostavne tiskane pločice:



10. Plan bušenja

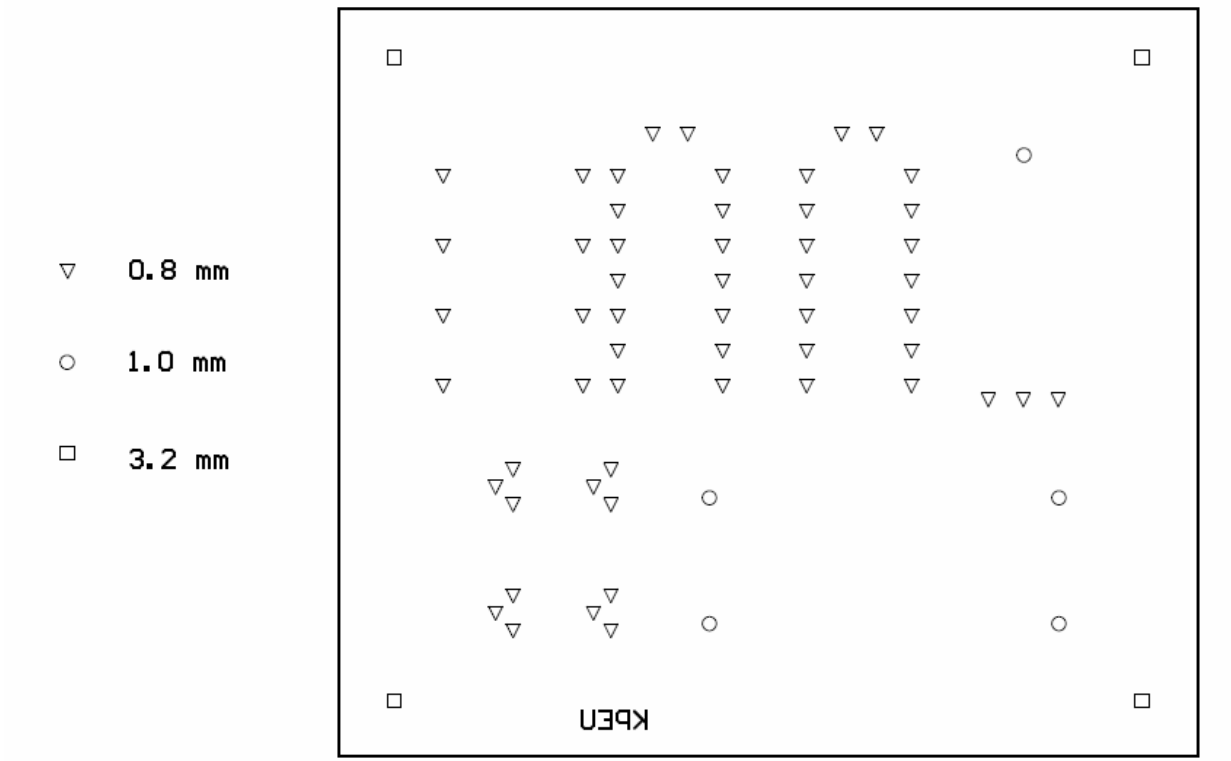
- na planu bušenja sve rupe istog promjera moraju biti označene istim simbolom (svrdla obavezno u [mm], ne u [mils] ili [inch]!) :



- minimizirati broj svrdala različitih promjera (poželjno do 3, maks. 4-5)!

10. Plan bušenja

- zrcaljeni plan bušenja olakšava ručno bušenje rupa kod jednostranih tiskanih pločica:



Pretraživanje kataloga dobavljača

- korisni linkovi:
  - www.farnell.com
  - www.rs-components.com
  - www.burklin.de
  - www.digikey.com
  - www.mouser.com
  - www.chipoteka.hr
  - www.kronos.hr

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva

Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

KONSTRUKCIJA I PROIZVODNJA ELEKTRONIČKIH UREĐAJA

Ratko Magjarević
Zoran Stare
Mario Cifrek
Hrvoje Džapo
Matko Ivančić
Igor Lacković
Denis Voloder

UPUTE ZA VJEŽBE

Zagreb, 2004.

SADRŽAJ

1. TEHNOLOGIJA TISKANIH PLOČICA 3
1.1. Tiskane pločice 5
1.2. Izrada tiskanih pločica 4
1.3. Laboratorijska izrada tiskanih pločica 8

2. PROJEKTIRANJE TISKANIH PLOČICA 12
2.1. Ulazni zahtjevi i priprema procesa projektiranja 12
2.2. Projektiranje tiskanih veza 18
2.3. Izlazni podaci i projektna dokumentacija 28

3. TEHNIČKA DOKUMENTACIJA 29
3.1. Proizvodna dokumentacija 29
3.2. Korisnička dokumentacija 30
3.3. Servisna dokumentacija 32

4. AUDITORNE VJEŽBE A-1
4.1. Pouzdanost elektroničkih komponenata A-1
4.2. Toplinska svojstva elektroničkih komponenata A-12
4.3. Elektronički izvori napajanja A-25
4.4. Istosmjerno-istosmjerni pretvornici A-36
4.5. Svojstva pasivnih elektroničkih komponenata A-44
4.6. Zaštita od elektromagnetskih smetnji A-51

5. NAPUTAK ZA IZRADU PROGRAMA L-1

6. PRORAČUN IZVORA NAPAJANJA IN-1

1. TEHNOLOGIJA TISKANIH PLOČICA

1.1. Tiskane pločice

Tiskanim pločicama se električki i mehanički povezuju komponente elektroničkih sklopova i uređaja. Električke veze se ostvaruju tankim kovinskim trakama smještenim s jedne ili s obje strane nosive podloge od izolacijskog materijala. Podloga mehanički povezuje elektroničke komponente, koje se na nju pričvršćuju lemljenjem kontaktnih izvoda s tiskanim vodovima.

Građa nosive podloge je slojevita (laminat). Temeljni materijal slojeva je papir ili staklo (staklena vlakna). Kao punilo (ljepilo) pri prešanju više slojeva na povišenoj temperaturi, najčešće se koriste fenolne ili epoksidne smole. Materijali na osnovi stakla (vitroplast, FR-4 i FR-5) imaju bolja izolacijska (dielektrična), kemijska (slabije upijaju vlagu), mehanička (čvršći su) i temperaturna (podnose više temperature) svojstva od materijala na osnovi papira (pertinaks, FR-2 i FR-3), ali su znatno skuplji.

0,8 mm	**1,6 mm**	2,4 mm

Tablica 1.1. Normirane debljine nosive izolacijske podloge tiskanih pločica

Kao vodljivi sloj koristi se tanka bakrena folija, lijepljenjem pričvršćena na nosivu izolacijsku podlogu pločice.

17,5 μm	**35 μm**	70 μm

Tablica 1.2. Normirane debljine bakrenog sloja tiskanih pločica

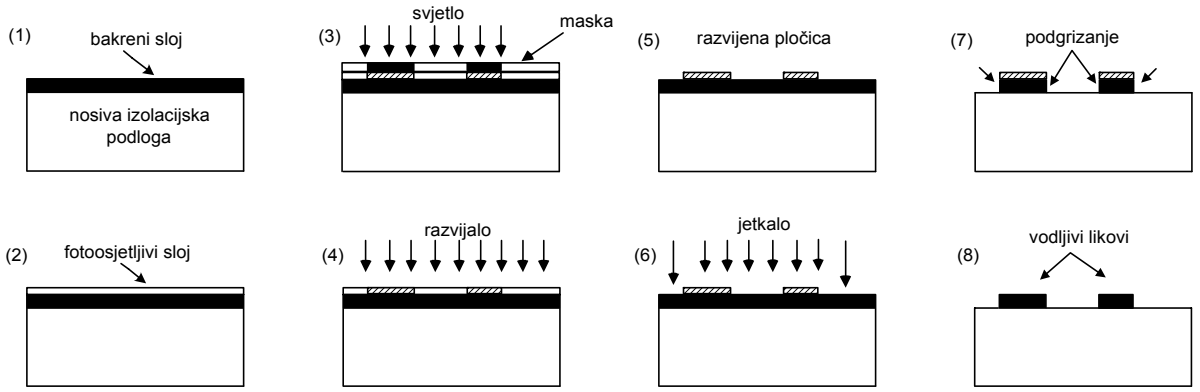
Tiskanje vodova je izrada vodljivih likova u vodljivom sloju na površini pločice

- subtraktivnim,
- aditivnim ili
- mješovitim postupkom,

a prema predlošku. Subtraktivnim postupkom se s pločice potpuno prekrivene vodljivim slojem uklanjaju suvišni dijelovi, dok se aditivnim likovi izrađuju selektivnim nanošenjem vodljivog materijala. Za izradu vodljivih likova na pločicama s bakrenim slojem redovito se koristi subtraktivni postupak. Prethodno se na bakreni sloj nanosi maska od materijala otpornog na jetkanje, i to najčešće

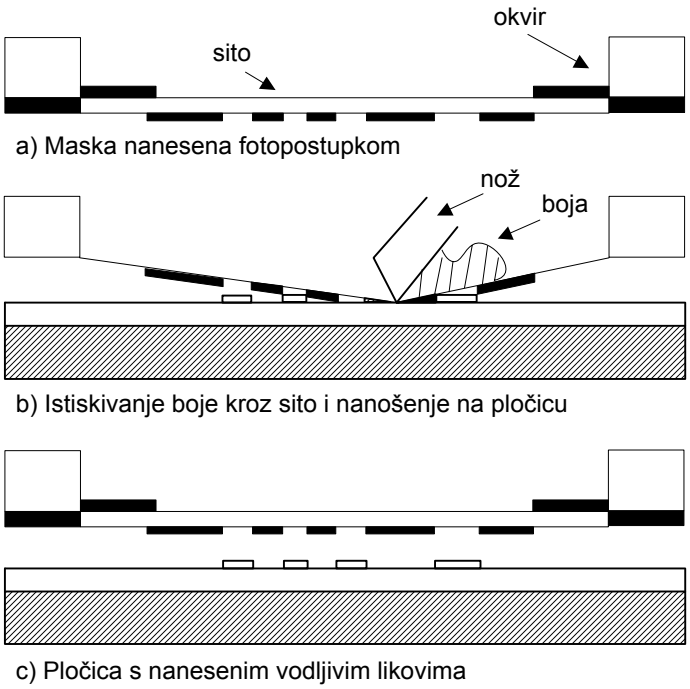
- fotopostupkom ili
- sitotiskom.

Fotopostupak omogućuje preciznu izradu vrlo uskih, gusto raspoređenih likova. Primjenjuje se u pojedinačnoj i serijskoj proizvodnji tiskanih pločica, a koriste ga i studenti u sklopu konstrukcijskih i diplomskih radova na Zavodu za elektroničke sustave i obradbu informacija.



Slika 1.1. Primjena fotopostupka u izradi tiskanih pločica

Sitotisak je tehnika protiskivanja boje kroz sito na podlogu. Sito (mreža od svile, najlona ili kovine) napeta je na okvir. S gornje strane sita stavlja se boja, a na donju stranu je prethodno fotografskim postupkom nanesena maska. Boja se zatim mehanički protiskuje kroz sito. Sito ne smije dodirivati podlogu da ne bi došlo do podlijevanja boje.



Slika 1.2. Primjena sitotiska u izradi tiskanih pločica

Kakvoća pločica dobivenih sitotiskom ovisi o finoći sita. Sitotiskom se ne mogu ostvariti male dimenzije vodljivih likova kao fotopostupkom, ali je postupak jeftin pa se često koristi u serijskoj proizvodnji tiskanih pločica.

Za nanošenje likova u proizvodnji tiskanih pločica koriste se i klasične tiskarske metode, litotisak i litoofset tisak. Tehnologija prešanja i isjecanja bakrenih likova primjenjuje se samo kod vrlo velikih serija, ukoliko dopustiva odstupanja dimenzija likova nisu premala. Te tehnologije zahtijevaju izradu posebnih mehaničkih alata što ih čini isplativima samo kod proizvodnje velikog broja tiskanih pločica.

Likovi se na pločice nanose prema predlošku ili filmu. Pravila za izradu predložaka opisuju dozvoljene postupke sukladno električkim značajkama sklopova i mehaničkim svojstvima komponenata. Predlošci za pločice s jednostranim i dvostranim vezama mogu se izrađivati ručno ili pomoću programa za projektiranje tiskanih pločica na računalima. Višeslojne tiskane pločice se isključivo projektiraju pomoću računala. Programi se mogu koristiti samo za crtanje vodljivih likova ili za sveukupno projektiranje tiskanih veza. Pod projektiranjem tiskanih veza podrazumijeva se smještaj (*placement*) i međusobno povezivanje komponeneta (*routing*) na tiskanoj pločici. Veze između komponenata opisane su planom povezivanja (*netlist*), izvedenim iz električke sheme sklopa nacrtane primjenom odgovarajućeg programa. Danas programi za povezivanje (*router*) mogu ostvariti sve veze, ukoliko je gustoća komponenata predviđenih za smještaj na pločici manja od programom predviđene za izabrani broj slojeva (≥2). Gustoćom komponenata smatra se omjer zbroja efektivnih površina komponenata projiciranih na površinu pločice i površine pločice. Pri tome se podrazumijeva određena gustoća izvoda komponenata (broj izvoda po jedinici njene površine), obično ona svojstvena integriranim krugovima u DIL kućištu. Pravila za projektiranje tiskanih pločica navedena u nastavku uključena su dijelom i u programe na računalima.

1.2. Izrada tiskanih pločica

Tehnološki proces izrade tiskanih pločica uključuje tehnički vrlo zahtjevne mehaničke, kemijske i električke postupke. Broj i redoslijed tih postupaka te njihova složenost i kakvoća, odrednice su procesa iz kojih proizlaze granične ostvarive značajke proizvodenih tiskanih pločica. Proces mora osigurati:

- preciznu izvedbu likova (tiskanih veza) u tankom bakrenom sloju selektivnim uklanjanjem njegovih suvišnih dijelova,
- ostvarenje prospojnih rupa (rupe s vodljivim bočnim stijenkama, *plated through hole*) za električko povezivanje likova na dva (ili više) izolacijskim materijalom odvojenih bakrenih slojeva, te
- zaštitu bakrenih likova, poglavito od korozije.

Elementi vodljivih likova su vodovi (*track*) i lemne točke (*pad*). Lemne točke su kružni ili pravokutni prstenovi smješteni na prospojnim rupama. Prospojne rupe su i lemne rupe u koje se leme žičani izvodi elektroničkih komponenata, i prospoji (*via, via hole*) za električko povezivanje vodova na dva ili više izolacijskim

materijalom odvojenih bakrenih slojeva. Dimenzije vodljivih likova se redovito iskazuju u tisućinkama (*mil*, mil) inča (1 *inch* = 25,4mm), budući da takvu rasterizaciju koriste programi za projektiranje tiskanih veza na računalu, čemu i proizvođači prilagođuju dimenzije elektroničkih komponenata.
Ključni mehanički parametri kakvoće procesa su najmanje ostvarive dimenzije elemenata vodljivih likova, i to:

- širina tiskanih vodova (0,1mm - 0,3mm, odnosno 4*mils* - 12*mils*),
- razmak između električki odvojenih elemenata vodljivih likova (0,1mm - 0,3mm), i
- promjer prospojnih rupa (0,3mm - 0,6mm).

Projektant elektroničkog uređaja određuje zahtjeve na tehnološki proces, i to na temelju:

- sveukupnih električkih značajki sklopovlja koje se tom tehnologijom izrađuje,
- radne okoline uređaja (temperatura, tlak, vlažnost, elektromagnetske smetnje, ...)
- elektromehaničkih i toplinskih svojstava ugradbenih elektroničkih komponenata,
- veličine serije, te
- cijene izrade,

a za postupak izrade mora osigurati:

- nacrt tiskanih veza (vodljivih likova) na lemnoj strani, strani komponenata (za dvostrane i višeslojne veze) te međuslojevima (za višeslojne veze) tiskane pločice,
- opis rupa (plan bušenja) koji sadrži podatke o položaju (koordinatama) i konačnim (nakon presvlačenja vodljivim slojem) promjerima rupa,
- nacrt lemne maske za nanošenje zaustavnog (zaštitnog) laka, i
- položajni nacrt komponenata (ugradbenu shemu).

1.2.1. Opis tehnološkog procesa (za dvostrane veze s prospojnim rupama)

Izrada tiskanih pločica (Slika 1.3.) započinje bušenjem rupa računalom upravljanom bušilicom. Promjer svrdala mora biti veći (70 do 100μm) od zadanih konačnih promjera prospojnih rupa, zbog kasnijeg nanošenja vodljivog sloja (2 x 25 do 35μm Cu + 2 x 10 do 20μm Sn/Pb) na bočne stijenke rupa. Stijenke rupa trebaju biti ravne i glatke, pa se stoga primjenjuju bušilice s velikom brzinom vrtnje te oštra svrdla. Time se dodatno izbjegava pregrijavanje svrdla i pločice, te podizanje nalijepljenog bakrenog sloja s donje strane pločice. Redovito se buši više (3 do 5) pločica istovremeno, čime se ubrzava postupak, no i povećavaju položajne pogreške na donjim pločicama zbog savijanja svrdala.

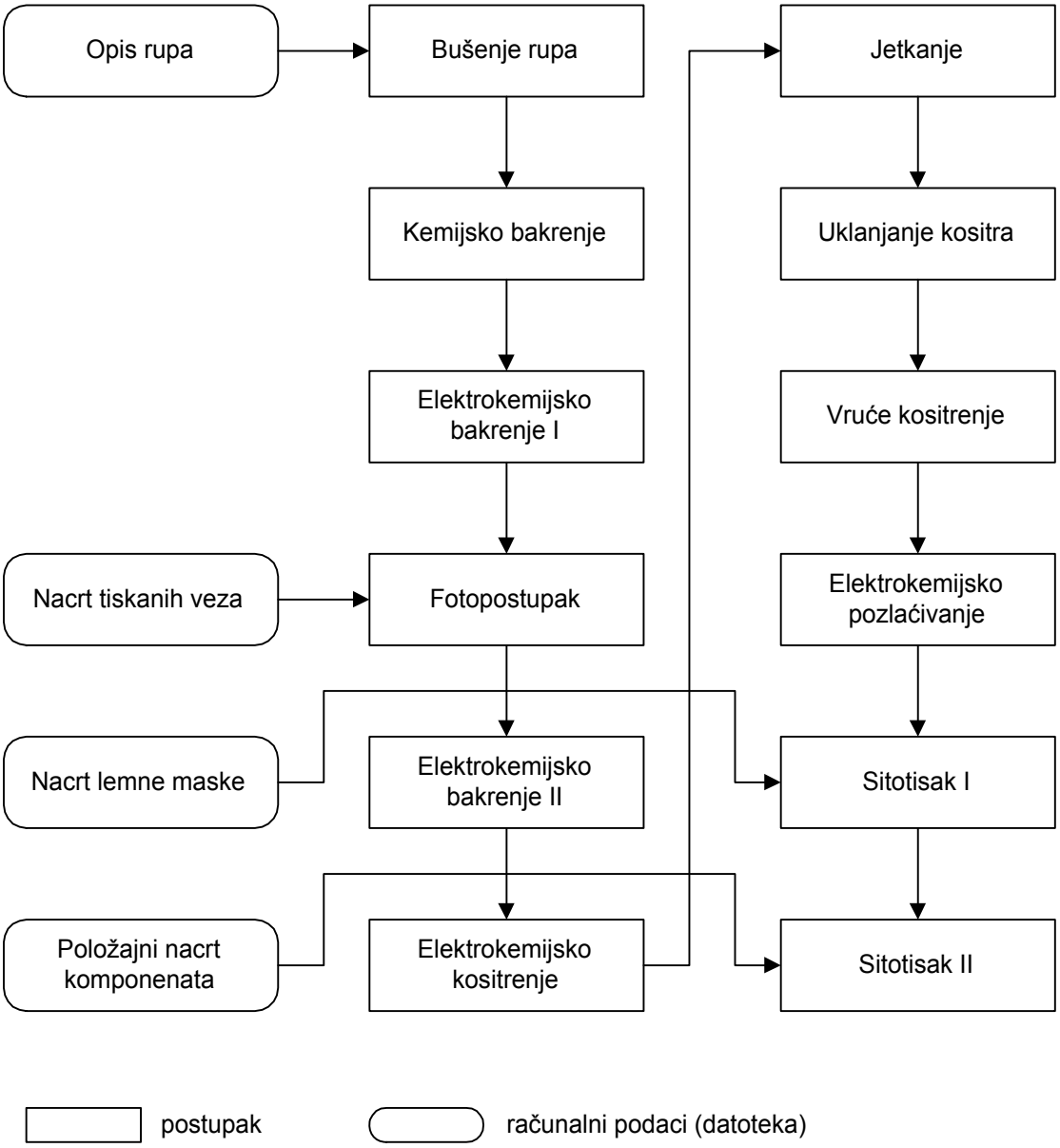
Nakon bušenja se bestrujnim redukcijskim postupkom (Kemijsko bakrenje) nanosi vrlo tanki (oko 0,5μm) sloj bakra, budući da bi u tom trenutku elektrolitički postupak nanošenja bakra bio neučinkovit jer su bočne stijenke rupa još nevodljive. Potom se elektrolitičkim postupkom (Elektrokemijsko bakrenje I) nanosi tanki (oko 5μm) sloj bakra na obje strane pločice i po stijenkama rupa. Anoda u elektrolizi je elektrolitički bakar 99,5%-tne čistoće, katoda je tiskana pločica (u tom trenutku su bakreni slojevi s obje strane pločice kratko spojeni tankim slojem bakra prethodno nanesenim na bočne stijenke rupa), a kao elektrolit se najčešće koristi sulfatna kiselina i bakreni sulfat. Nakon elektrokemijskog bakrenja rupe su električki vodljive, s dovoljno čvrstim slojem bakra na stijenkama, te se mogu izrađivati tiskane veze na obje strane pločice.

Sljedeći korak je fotopostupak kojim se, pomoću filma izrađenog na temelju nacrta tiskanih veza, nanosi maska (negativ) koja omogućuje potrebnu selektivnost daljnih postupaka. Kao fotoosjetljivi sloj koristi se suhi film, koji se na pločicu strojno lijepi na povišenoj temperaturi i tlaku.

Poslije fotopostupka se ponovo elektrolitičkim postupkom (Elektrokemijsko bakrenje II) nanosi sloj bakra, no sada je sloj deblji (oko 25μm) i ne nanosi se po sveukupnoj površini pločice, već, zahvaljujući prethodno nanesenoj maski, samo po mjestima budućih tiskanih veza. Potom se također elektrolitičkim postupkom (Elektrolitičko kositrenje) kroz istu masku nanosi tanki (oko 10μm) sloj slitine kositar-olovo (Sn/Pb) sastava 60% Sn i 40% Pb (lemna slitina). Taj sloj slitine kositar-olova je maska za jetkanje suvišnih dijelova bakrenih slojeva na obje strane pločice.

Nakon skidanja maske nanesene fotopostupkom, koja više nije potrebna, slijedi jetkanje u tekućini (željezni klorid, bakreni klorid, amonijak-persulfat, kromsumporna kiselina) koja nagriza bakar, a ne nagriza slitinu kositar-olovo. Poslije jetkanja na pločici preostaju upravo zadani bakreni vodljivi likovi. Prekriveni su tankim slojem slitine kositar-olovo, koji je povoljno ukloniti iako bi mogao poslužiti za zaštitu bakra od korozije, a zbog mogućih poteškoća pri lemljenju komponenata. Naime taj sloj je nanesen elektrolizom, a budući da nije čista kovina već slitina, to mu površinska debljina i postotak sastojaka (time i sveukupna, posebice kemijska svojstva) nisu jednoliki po cijeloj površini pločice. Dodatno, taj sloj je i oštećen u postupku jetkanja, a zbog načina nanošenja on ionako ne prekriva bočne stijenke bakrenih likova.

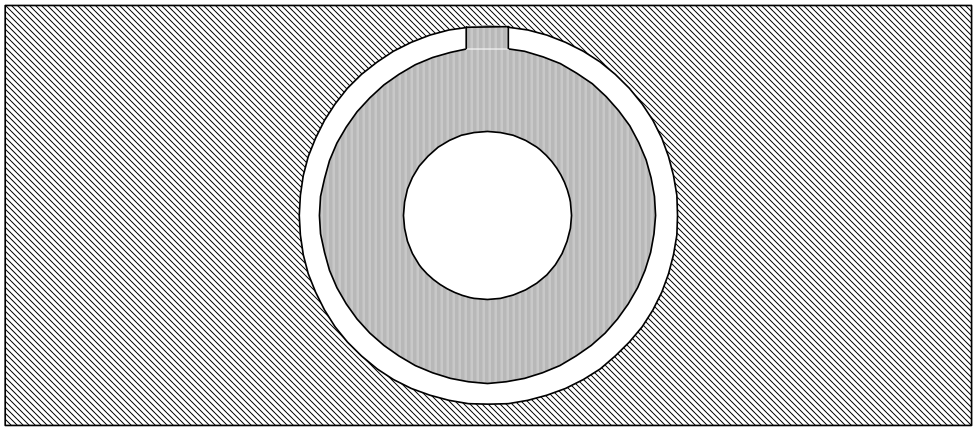
Poslije skidanja elektrolitičkog sloja kositar-olova, ta ista slitina se ponovo nanosi na bakrene likove u sloju debljine oko 10μm, no ovaj puta provlačenjem kroz rastaljenu slitinu (vruće kositrenje) u posebnim kupkama (*HAL - Hot Air Leveling*) s toplom zračnom strujom pomoću koje se postiže jednolika debljina i sastav sloja po cijeloj površini te izbjegava zapunjavanje prospojnih rupa. Taj sloj u potpunosti prekriva vodljive bakrene likove i štiti ih od mehaničkih i kemijskih utjecaja, osobito korozije.



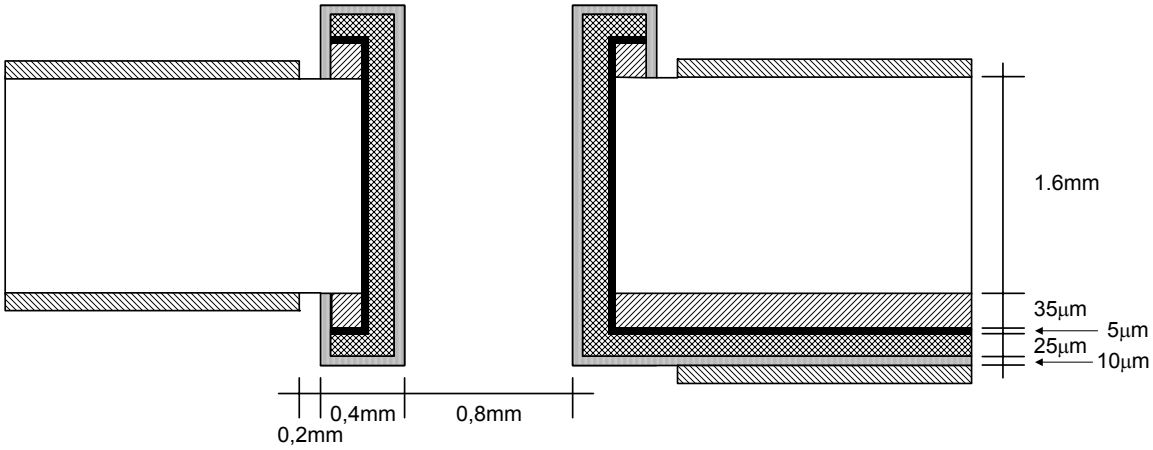
Slika 1.3. Skica tehnološkog procesa - redoslijed glavnih postupaka u proizvodnji dvostranih tiskanih pločica s prospojnim rupama

Time su završeni svi bitni postupci u izradi pločice te se već na tom stupnju ona može primjeniti. No redovito se izvode i daljnji postupci za dodatna poboljšanja. U slučaju da na pločici postoje rubni (*edge*) konektori (kao primjerice na utičnim pločicama osobnih računala), oni se pozlaćuju (Elektrokemijsko pozlaćivanje) zbog poboljšanja kemijskih, mehaničkih i električkih svojstava. Kao podloga za pozlatu nanosi se sloj (5 do 10μm) nikla elektrolitičkim postupkom, čime se poboljšavaju površinska svojstva. Tako se izbjegava poroznost završnog, vrlo tankog (1 do 4μm) sloja zlata, koji se također nanosi elektrolitičkim postupkom. Zlatu se prethodno u vrlo malom postotku (oko 1%) dodaju kobalt, nikal ili rodij zbog povećanja tvrdoće.

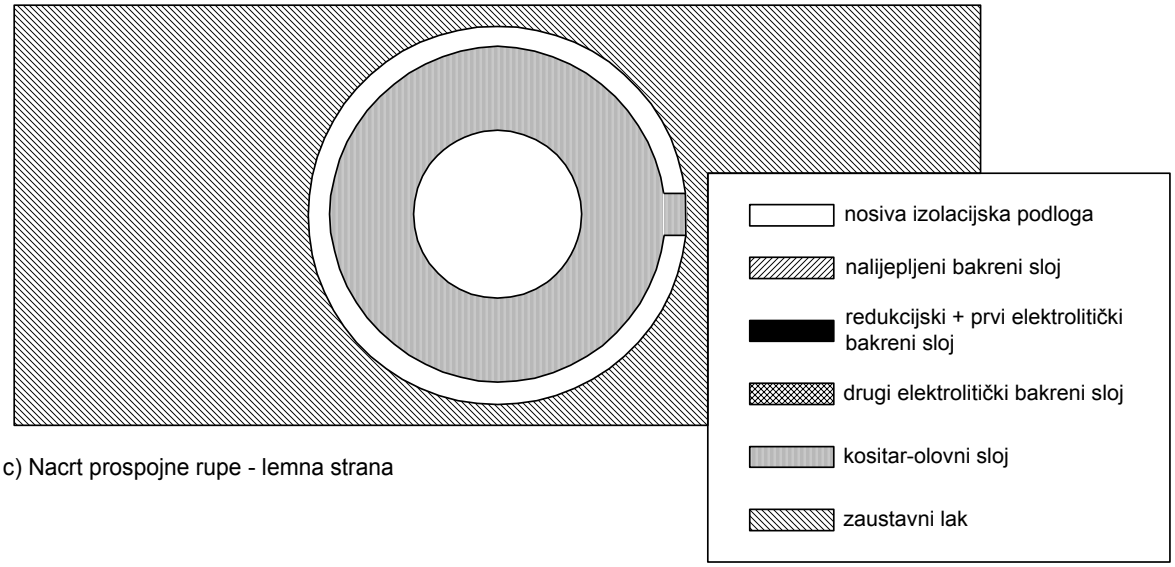
Naposlijetku se prema filmovima izrađenima na temelju nacrta lemne maske i položajnog nacrta komponenata, sitotiskom (Sitotisak I) prvo nanosi zaustavni (zaštitni) lak, a potom i otiskuje (Sitotisak II) položajni nacrt komponenata (ugradbena shema). Zaustavni lak se nanosi po cijeloj površini pločice, osim po lemnim točkama na prospojnim rupama. Temeljna funkcija mu je onemogućavanje nepotrebnog razlijevanja lema pri ugradnji komponenata, što je naročito važno kod lemljenja u lemnim kupkama zbog smanjenja potrošnje lemne slitine. Dodatno, zaustavni lak električki izolira tiskane vodove te im povećava otpornost na okolne, osobito kemijske utjecaje, zbog čega se i naziva zaštitnim.



a) Nacrt prospojne rupe - komponentna strana



b) Presjek prospojne rupe



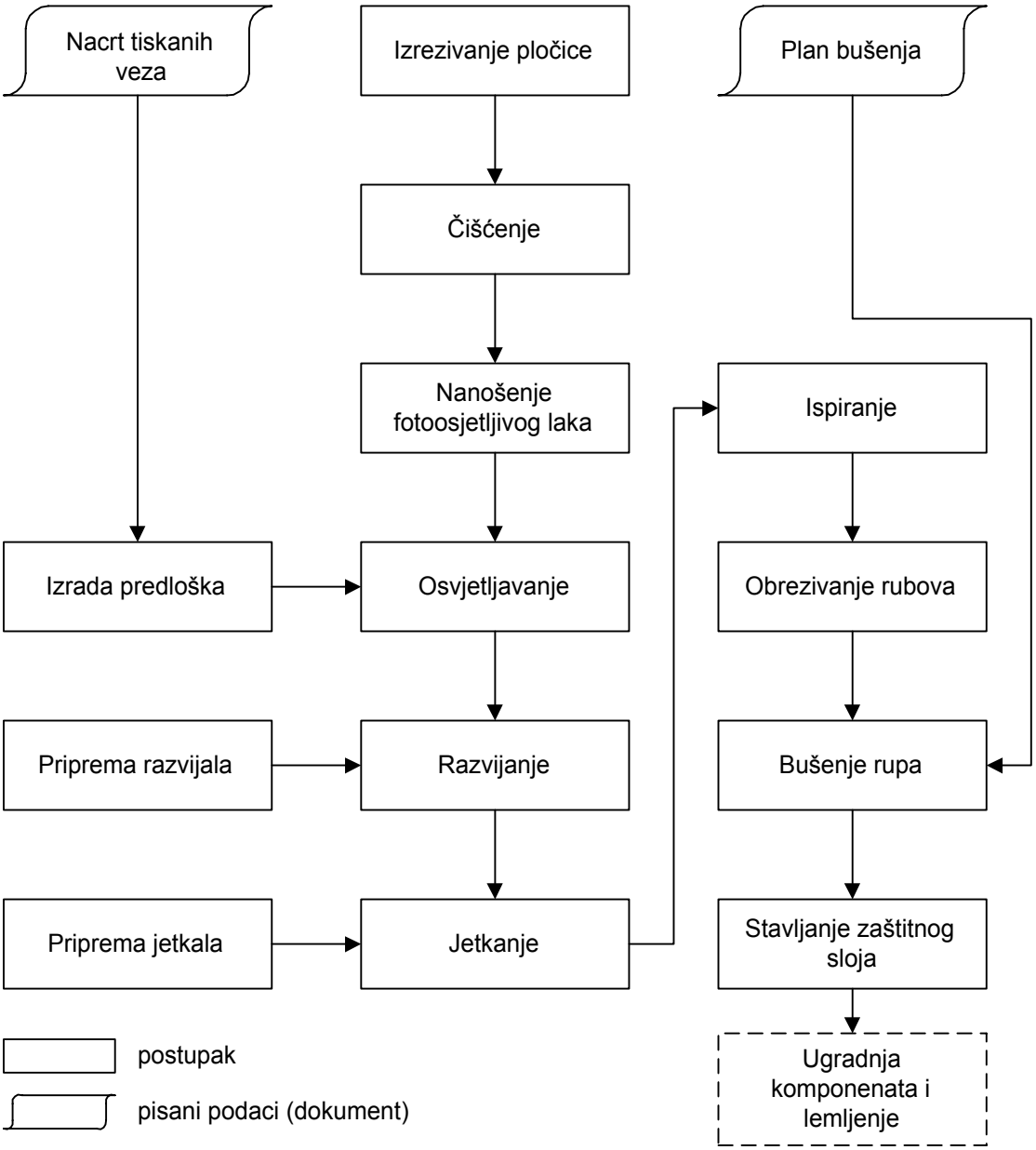
c) Nacrt prospojne rupe - lemna strana

Slika 1.4. Prikaz prospojne rupe na dvostranoj tiskanoj pločici

Položajni nacrt komponenata, osim slikovnog prikaza komponenata, sadrži i njihove slovno-brojevne oznake te druge korisne zapise. Otiskivanje tog nacrta na tiskanoj pločici omogućuje bržu, jednostavniju i pouzdaniju ugradnju komponenata (ako se radi ručno) te olakšava ispitivanje, umjeravanje i održavanje uređaja.

1.3. Laboratorijska izrada tiskanih pločica

Elektronički razvojni laboratoriji najčešće ne raspolažu vrlo složenom i skupom opremom (primjerice računalom upravljanim strojevima ili elektrolitičkim kupkama) neophodnom za u prethodnom poglavlju opisani tehnološki proces izrade dvostranih tiskanih pločica s prospojnim rupama. U znanstvenim istraživanjima i razvoju prototipova elektroničkih sustava česte su potrebe za izmjenama sklopovlja koje je redovito na takvoj razini složenosti da je uporaba žica i utičnih probnih pločica (*protoboard*) neprihvatljiva. Primjena pak jednostavne, pouzdane i jeftine tehnike omčastog povezivanja (*wire wrap*) prikladna je uglavnom za digitalno sklopovlje na niskim i srednjim frekvencijama.



Slika 1.5. Slijed postupaka u laboratorijskoj izradi jednostranih tiskanih pločica

Zbog svega toga povoljno je raspolagati opremom za izradu jednostranih tiskanih pločica, koja nije skupa niti su joj postupci primjene osobito složeni. Štoviše, uvježbani rukovatelj u takvim uvjetima može zadovoljavajuće dobro izraditi i dvostrane tiskane pločice bez prospojnih rupa. U tom se slučaju komponente moraju lemiti s obje strane tiskane pločice, a električka vodljivost prospoja se ostvaruje lemljenjem kratkospojnika također s obje strane pločice.

U nastavku je opisan proces izrade jednostranih tiskanih veza (Slika 1.5.), koji se primjenjuje na Zavodu za elektroničke sustave i obradbu informcija.

1.3.1. Priprema pločice

Proces izrade započinje pripremom pločice koja uključuje izrezivanje i čišćenje. Dimenzije pločice moraju biti 5 do 10mm veće od konačnih zbog narušavanja kemijskih i mehaničkih svojstava nezaštićenih bočnih rubova nosive izolacijske podloge pločice tijekom kasnijih postupaka. Bakreni površinski sloj pločice mora se očistiti od sloja oksida, masnoće i prašine, i to uporabom mehaničkih ili kemijskih sredstava za čišćenje. Pri tome je preporučljivo koristiti postupke i sredstva koja ne oštećuju ionako vrlo tanak (najčešće 35μm) bakreni sloj.

1.3.2. Fotopostupak

Fotopostupkom se na prethodno pripremljenu pločicu nanosi maska za selektivno jetkanje bakrenog sloja. Prvo se na pločicu nanosi fotoosjetljivi lak s pozitivnim djelovanjem, prskanjem s udaljenosti oko 20cm. U prostoriji treba biti što je moguće manje prašine (čestice prašine pri padu na lak prouzročuju njegovo lokalno nakupljanje, čemu je posljedica prsten bez sloja laka u okolini te točke), svjetlo mora biti prigušeno, a naneseni sloj laka što jednolikiji i tanji. Ravnomjerno razlijevanje laka može se postići prskanjem na hladnu pločicu (prethodno opranu u hladnoj vodi, a potom posušenu brisanjem papirom iza kojeg ne zaostaju sitne niti) te naknadnom polaganom trešnjom ako je potrebno. Potom se lak suši 10 do 15 minuta na temperaturi oko 70°C, obvezno u tamnom prostoru. Za sušenje na sobnoj temperaturi bilo bi potrebno oko 24 sata, no treba težiti što bržem sušenju zbog manje mogućnosti onečišćenja nanesenog sloja. Sušenje laka na temperaturi višoj od 70°C nije preporučljivo jer mu značajno pogoršava svojstva.

Za selektivno osvjetljavanje fotolaka poželjan je pozitiv fotografskog filma nacrta tiskanih veza, no zadovoljavajuća je i primjena predloška otisnutog laserskim pisačem na prozirnom papiru. Predložak, s likovima otisnutim na strani okrenutoj prema pločici, mora dobro nalijegati na površinu pločice. U protivnom rubovi maske nakon razvijanja neće biti oštri zbog ogiba svjetlosti, te će podgrizanje vodljivih likova tijekom jetkanja biti izraženije. Trajanje osvjetljavanja ovisi o vrsti i snazi izvora svjetlosti, debljini fotoosjetljivog sloja i kontrastnosti predloška. Vrijeme osvjetljavanja jakim izvorom ultraljubičaste svjetlosti je 40 do 50 sekundi, a grafoskopom 5 do 10 minuta.

Nakon selektivnog osvjetljavanja lak se razvija u 7%-tnoj vodenoj otopini natrijeve lužine. Preporučljivo je koristiti mlaku otopinu temperature oko 20°C. Ako je postupak osvjetljavanja uspio, dovoljno je pločicu razvijati oko pola minute. Brzina razvijanja razmjerna je koncentraciji i temperaturi lužine. Natrijeva lužina je otrovna i nagriza kožu pa ju treba koristiti oprezno. Kristali (u tom obliku se kupuje) natrijeve lužine ne smiju se dirati rukama jer su vro higroskopni, zbog čega se na mjestu dodira stvara lužina vrlo velike koncentracije i prodornosti. U slučaju dodira s kožom lužinu treba što prije isprati tekućom vodom.

Nakon razvijanja i ispiranja pločice mlazom vode, bakreni sloj pločice prekriven je fotoosjetljivim slojem samo po dijelu površine na kojem se trebaju nalaziti vodljivi likovi - tiskane veze.

1.3.3. Jetkanje

Pločica se može jetkati bilo kojom otopinom koja nagriza bakar (željezni klorid, bakreni klorid, amonijak-persulfat, kromsumporna kiselina). Najčešće se koristi željezni klorid zbog mirne reakcije, zadovoljavajućeg stupnja nagrizanja, brzine reakcije i cijene. Brzina reakcije ovisi o koncentraciji i temperaturi otopine. Tako pri koncentraciji 40% Be i temperaturi 25°C nezasićena otopina željeznog klorida može prihvatiti 75 grama bakra po litri. Preračunato za $1m^2$ jednostrane bakrene ploče debljine 35μm (uz pretpostavku da se jetkanjem skida 50% bakrene površine), potrebno je oko dvije litre otopine takve koncentracije. Jetkanje u navedenim uvjetima traje 5 do 10 minuta, a može se ubrzati strujanjem otopine, odnosno lokalnim izmjenama zasićene otopine s nezasićenom. Primjena jetkalica koje proizvode otopinu željeznog klorida u obliku pjene ubrzava postupak, budući da je koncentracija otopine na mjehurićima velika. Otopina se na nižim temperaturama lakše pjeni, ali je manje agresivna. Optimalno je zagrijavanje na temperaturu između 25 i 35°C.

Čim je jetkanje završeno, pločicu treba izvaditi iz otopine i temeljito isprati tekućom vodom. Pretjerano zadržavanje pločice u otopini je nepovoljno budući da željezni klorid bočno nagriza bakar ispod fotopostupkom nanesene zaštitne maske, čime se smanjuje efektivna površina vodova. Kod vrlo tankih vodova to čak može prouzročiti potpuni prekid. Nadalje, predugim jetkanjem otopina prodire u podlogu (osobito kroz bočne stijenke) te joj pogoršava izolacijska svojstva. Zaostajanje pak željeznog klorida na pločici može izazvati i naknadno pojačano oksidiranje bakra.

1.3.4. Završna obrada pločice

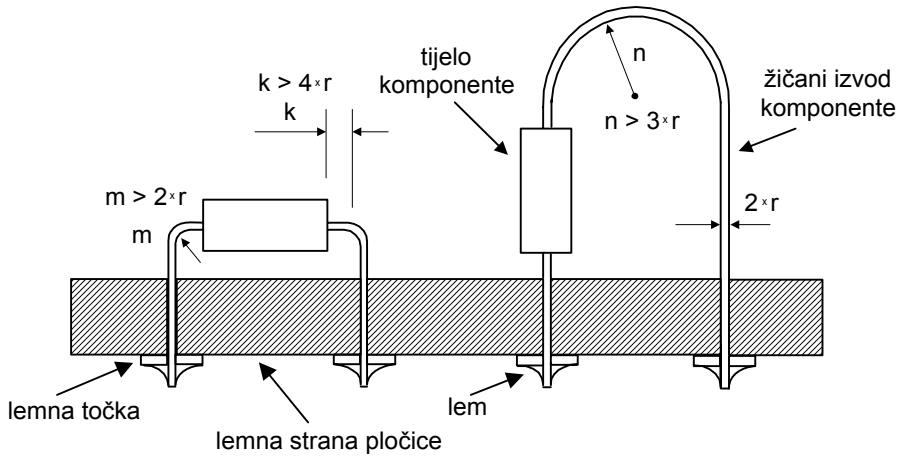
Po završetku jetkanja preostali fotolak (maska) se s bakrenih likova može ukloniti mehanički, otapalom (aceton) ili, nakon ponovnog osvjetljavanja, u lužini preostaloj nakon razvijanja. Potom se obrezuju (5 do 10mm predviđenih pri postupku pripremnog izrezivanja) rubovi pločice sa svojstvima degradiranima tijekom prethodnih postupaka. Mehanička obrada završava se ručnim bušenjem rupa prema planu bušenja. Plan bušenja je slikovni prikaz rupa u mjerilu (položajni nacrt rupa), s jasno naznačenim promjerom svrdla za svaku rupu.

Budući da je profesionalna izvedba zaštite tiskanih vodova (opisana u prethodnom poglavlju) presvlačenjem kovinskim slojem i zaustavnim lakom neprimjerena laboratorijskim uvjetima, primjenjuje se jednostavno i redovito dovoljno učinkovito premazivanje tekućim kalofonijem. Kalofonij je ujedno i sredstvo za snižavanje tališta lemne legure, što je povoljno.

1.3.5. Ugradnja komponenata sa žičanim izvodima

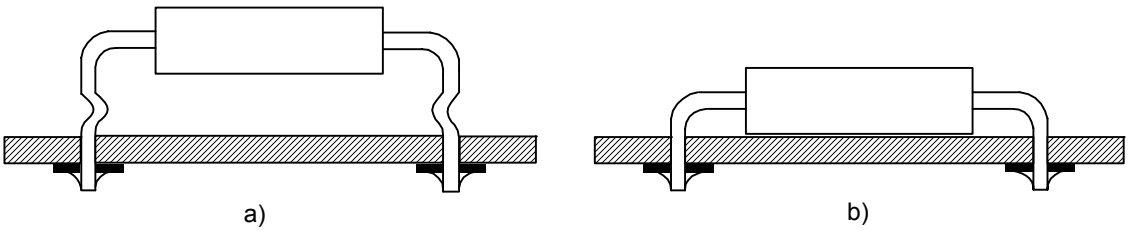
Ugradnja komponenata je postupak postavljanja komponenata na tiskanu pločicu prema položajnom nacrtu komponenata (ugradbenoj shemi) te potom lemljenje njihovih izvoda s lemnim točkama tiskanih vodova.

Prvi korak je savijanje izvoda komponenata na razmak određen predviđenim položajem lemnih točaka. Izvodi se savijaju na udaljenosti (od ruba tijela komponente) većoj od dvostrukog promjera izvoda. Najmanja duljina polumjera zakrivljenosti savinutih priključaka za vodoravnu ugradnju je dvostruki, a za okomitu trostruki polumjer izvoda (Slika 1.6.).



Slika 1.6. Pravilno smještanje komponenata i savijanje njihovih žičanih izvoda

Potom se komponente ugrađuju prema visini, počevši s najnižima. Nakon postavljanja komponenata iste ili približne visine u rupe na pločici, na njih se stavlja spužva da bi se pločica mogla okrenuti bez ispadanja komponenata. Prije lemljenja preporučljivo je, zbog smanjenja nepotrebnog odvođenja topline, skratiti izvode tako da im duljina na lemnoj strani pločice bude oko 5mm.

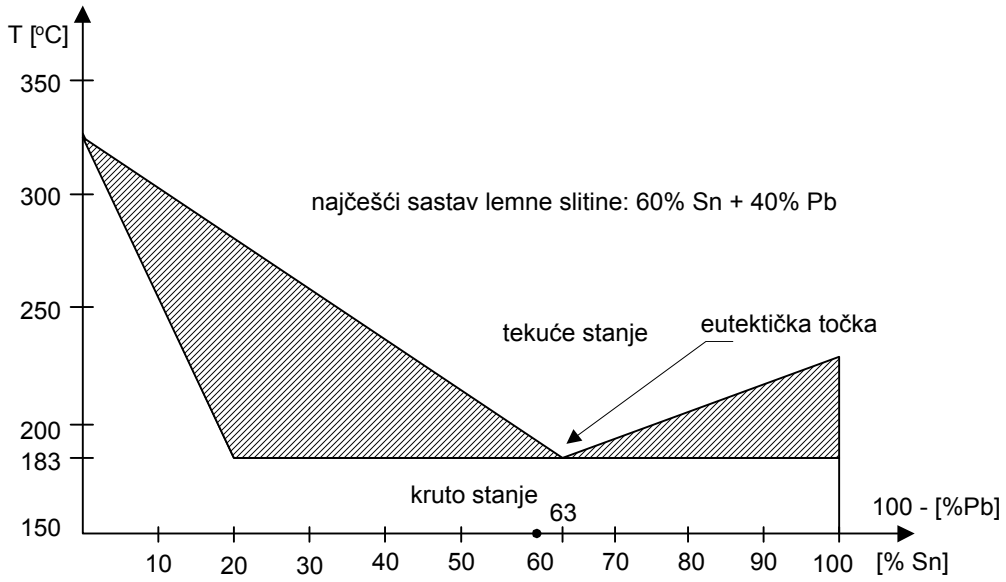


Slika 1.7. Pravilna **a)** i nepravilna **b)** ugradnja komponente koja se zagrijava tijekom rada

Izuzetak takvog načina ugradnje pri kojem komponente naliježu na tiskanu pločicu su komponente koje se tijekom rada sklopovlja zagrijavaju zbog disipacije snage (Slika 1.7.). Njih je potrebno ugraditi izdignute nekoliko milimetara do centimetar iznad pločice, da bi se poboljšalo odvođenje topline i izbjeglo zagrijavanje tiskane pločice. Nosive podloge na osnovi stakla trajno podnose temperature do oko 130°C, a one na osnovi papira do oko 110°C. Pri višim temperaturama mehaničke značajke im se bitno i nepovratno narušavaju.

1.3.6. Lemljenje

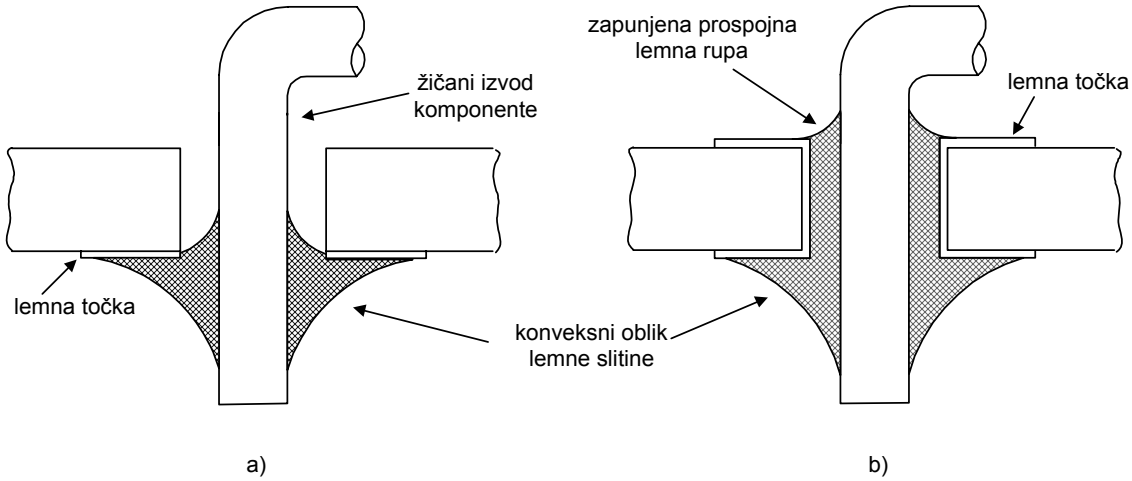
Lemljenje je metalurško povezivanje kovina, pri kojem lemna slitina (lem) služi i kao punilo i kao vodič, čime se istovremeno ostvaruju i mehanička i električka veza. Temeljni sastojci lemne slitine su kositar i olovo najčešće u omjeru 60:40 (od 55:45 do 70:30), a dodaju se bakar i zlato u manjim postocima. Temperatura tališta lemne slitine ovisna je o postotnim udjelima sastojaka (Slika 1.8.), a u primjenama joj je vrijednost oko 200°C. Tinol je lemna slitina izvedena u obliku šuplje žice čije središte je ispunjeno punilom koje služi za čišćenje lemnih mjesta.



Slika 1.8. Ovisnost temperature tališta slitine kositar-olovo (Sn/Pb) o postotnom sastavu

Strojno se tiskane pločice leme potapanjem (u lemnu slitinu), na lemnom valu ili u pećima uz primjenu posebnih lemnih pasta. Pri lemljenju potapanjem važno je nadzirati trajanje postupka, tako da se lemna mjesta dovoljno zagriju te time izbjegnu hladni lemovi, a da se istovremeno komponente ne pregrijavaju. Tijekom potapanja pločica se mora protresati da bi se oslobodili plinovi koji nastaju na njenoj poleđini i onemogućuju dobro lemljenje. Pločice koje se namjeravaju lemiti tim postupkom preporučljivo je izraditi sa slojem zaustavnog laka, zbog ograničavanja potrošnje lemne slitine.

Električke i mehaničke značajke lemnog spoja ostvarenog ručnim lemljenjem ovisne su o temperaturi vrha lemila, odvođenju topline (preko izvoda komponente i tiskanih vodova), trajanju lemljenja te vrsti primjenjenog sredstva (aditiva) za snižavanje tališta lemne slitine.



Slika 1.9. Izgled pravilno zalemljenog lemnog mjesta na jednostranoj **a)** i dvostranoj **b)** tiskanoj pločici

Kakvoća izvedbe lemnog spoja može se provjeriti pregledom. Pravilno zalemljeno lemno mjesto je srebrnog sjaja, a lemna slitina konveksno prijanja uz žičani izvod komponente (Slika 1.8.). Zagasiti lemni spoj i kuglasti oblik lemne slitine značajke su hladnog lema, koji je posljedica nedovoljnog zagrijavanja lemnog mjesta zbog preniske temperature vrha lemilice ili prekratkog trajanja zagrijavanja. Na mjestu hladnog lema je slaba električka i mehanička veza lemne točke (tiskanog voda) i izvoda komponente, pa je velika vjerojatnost slabljenja i potpunog prekida električke veze zbog utjecaja okoline tijekom rada sklopovlja. Zlatni sjaj lemnog spoja (pregrijani lem) ukazuje na previsoku temperaturu vrha lemila. Pretjerano zagrijavanje može prouzročiti odvajanje tiskanih vodova i vodljivih slojeva prospojnih rupa od nosive podloge pločice. Osobito to vrijedi za

prospojne rupe, budući da je toplinsko istezanje nosive podloge znatno veće od toplinskog istezanja bakrenog sloja (za podloge na osnovi stakla je taj omjer oko 3:1, a za one na osnovi papira oko 12:1).

Lemni aditivi omogućuju kemijsko uklanjanje oksida s lemnog mjesta, bolji spoj kovina-lem i učinkovitiji prijenos topline. Temeljni sastojak im je ili kalofonij ili kiseline. Kalofonij se proizvodi iz smola crnogoričnog drveća. Dobro čisti okside kovina, a zbog kemijske neutralnosti ne nagriza bakrene površine. Aditivi na osnovi kiselina koriste se pri lemljenju velikih površina i debljih žica.

Preporuke za lemljenje

- Izabrati vrh lemila prikladne veličine, ovisno o debljini izvoda komponente te veličini površine tiskanog voda na koji se lemi. Postaviti temperaturu vrha lemilice na oko 350°C.
- Skratiti izvode komponenata da bi se smanjilo nepotrebno odvođenje topline.
- Lemilom zagrijati lemno mjesto. Tek potom dodati tinol koji se mora razliti i pravilno oblikovati (Slika 1.8.), te brzo podići lemilo. Nosive podloge na osnovi stakla je primjerice na temperaturi 260°C dopustivo zadržati do 20 sekundi, a one na osnovi papira do 5 sekundi.
- Pregledati lemni spoj. Ako je nepravilan (hladni ili pregrijani lem, premalo ili previše lemne slitine) zagrijati ga te ukloniti lemnu slitinu pumpicom. Ovisno o vrsti nepravilnosti izmijeniti temperaturu (od 300°C do 400°C) vrha lemilice ako je potrebno. Nakon toga ponoviti postupak lemljenja.
- Nakon uspješnog lemljenja potrebno je tiskanu pločicu očistiti da bi se uklonio zaostali aditiv i spriječila korozija. Taj korak se preskače ukoliko su i aditiv i zaustavni lak izrađeni na osnovi kalofonija. Pločica se čisti kistom, 80%-tnom otopinom izopropilnog alkohola. Nakon čišćenja pločicu isprati vodom i potom osušiti. Ne preporuča se brisanje papirom ili tkaninom, jer preostaju sitne niti i vlakna.

2. PROJEKTIRANJE TISKANIH PLOČICA

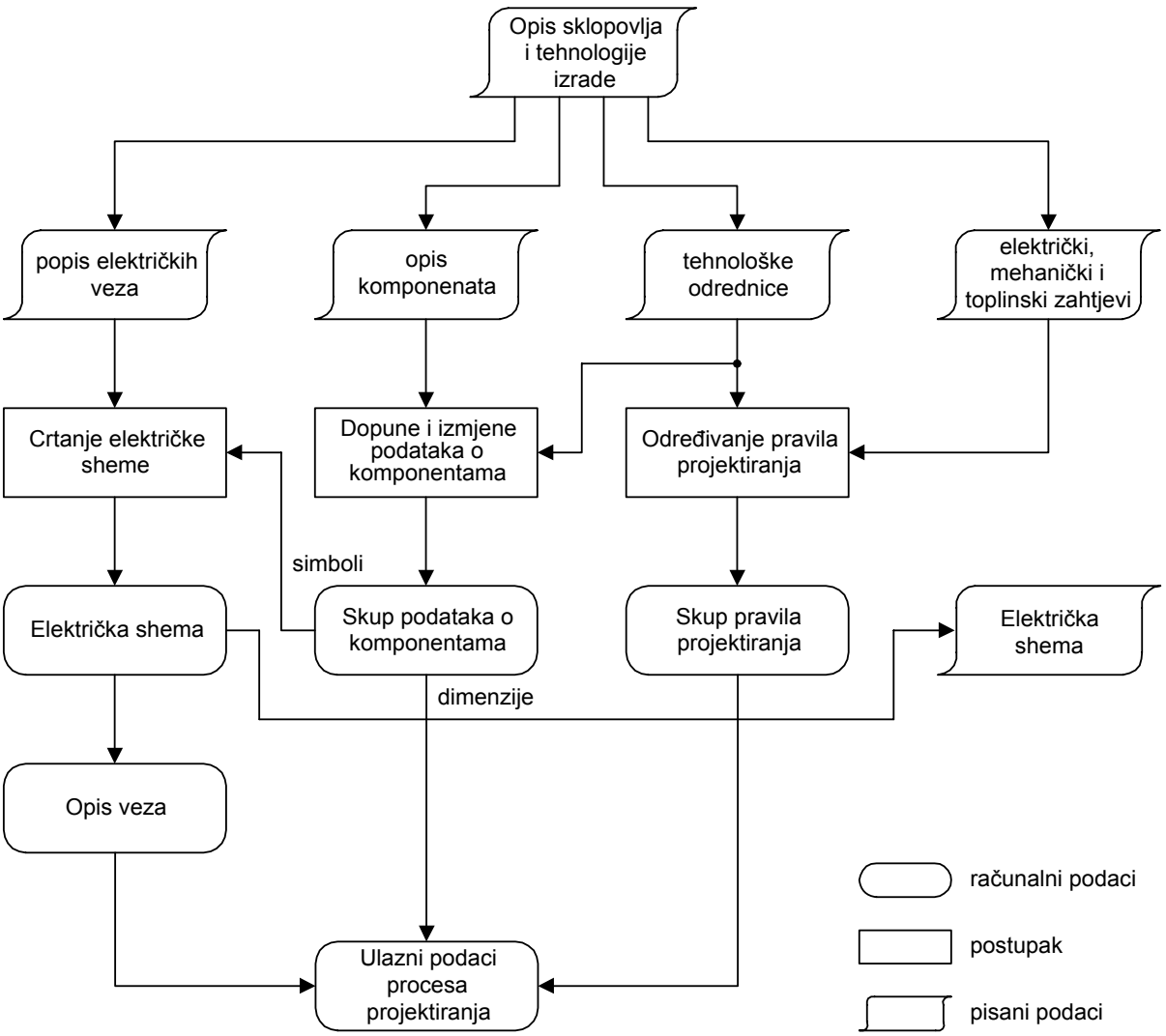
Projektiranje tiskane pločice je završni dio procesa električkog, mehaničkog i toplinskog projektiranja sklopovlja jedne zasebne cjeline elektroničkog uređaja. Električko i mehaničko povezivanje elektroničkih komponenata tiskanom pločicom nije puko smještanje komponenata na što manjoj površini i međusobno spajanje njihovih izvoda tiskanim vezama proizvoljnog oblika u što je moguće manje vodljivih slojeva.

Tiskana pločica je skup međusobno odvojenih vodljivih likova - tiskanih veza smještenih na nosivoj izolacijskoj podlozi. Tijekom rada sklopa tim likovima teče električna struja, a između njih postoji razlika potencijala. Vodljivi likovi nisu savršeno električki vodljivi, niti su neizmjerno malih geometrijskih dimenzija, niti su međusobno neizmjerno udaljeni, niti im je podloga savršeni električki izolator. Stoga je tiskana pločica skup električkih vodova s prostorno raspodijeljenim parametrima, međusobno povezanih elektromagnetskim putem. Nadomjesna električka shema (s elementima sa zgusnutim parametrima) voda je otporno-induktivno-kapacitivni (RLC) dvopol koji je kapacitivno-međuinduktivno-vodljivim (CMG) dvopolima povezan sa svima ostalima na tiskanoj pločici. Prema tome tiskana pločica iako nevidljiva u električkoj shemi sklopa, u njoj je sveprisutna, unoseći RLC dvopol u svaki čvor (spoj dvije ili više komponenata) te CMG dvopol između čvorova svih parova čvorova. Vrijednosti svojstvenih veličina elemenata tih dvopola su funkcije geometrije vodljivih likova, čije određivanje stoga nije crtanje već projektiranje.

Tiskane pločice projektiraju se primjenom dijelova sveobuhvatnih elektroničkih CAD programa koji podržavaju sve razine projektiranja sklopovlja, od određivanja električke sheme i njene provjere (simulacija) do projektiranja tiskanih veza i njihovog ispitivanja.

2.1. Ulazni zahtjevi i priprema procesa projektiranja

Glavni postupci u procesu projektiranja tiskanih veza su smještaj komponenata na pločicu i njihovo povezivanje. Sukladnost izvedbe tih postupaka s ulaznim zahtjevima omogućuje se pravilnom i potpunom pripremom (Slika 1.10.).



Slika 1.10. Priprema ulaznih podataka procesa projektiranja tiskanih veza

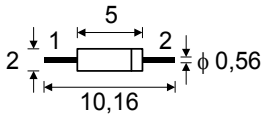
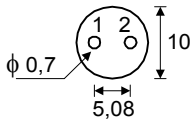
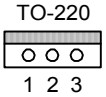
Cilj pripreme je pretvorba ulaznih zahtjeva (Opis sklopovlja i tehnologije izrade) najčešće u pisanom obliku, u računalne ulazne podatke za glavne postupke projektiranja. Opis sklopovlja i tehnologije izrade obuhvaća

- opis komponenata,
- popis električkih veza (spojeva),
- tehnološke odrednice, te
- dodatne električke, mehaničke i toplinske zahtjeve.

2.1.1. Opis komponenata

Opis komponenata sadrži njihove mehaničke značajke bitne za pravilno postavljanje i ugradnju na tiskanu pločicu, te temeljni električki opis neophodan za uspostavljanje veze s popisom električkih spojeva, odnosno električkom shemom. U njemu je za sve grupe istovrsnih komponenata potrebno navesti (Tablica 1.3.)

- vrstu, naziv (tip) te oznaku na električkoj shemi,
- popis komponenata te vrste,
- električki simbol s upisanim rednim brojevima izvoda,
- tehnički crtež (najčešće je dovoljan samo tlocrt) s upisanim dimenzijama vanjskih rubova, kotiranim položajima lemnih rupa za žičane izvode i rupa za učvršćenje ako postoje, upisanim rednim brojevima i promjerima priključnih izvoda te promjerima rupa ili izvoda za učvršćenje, i
- izgled na položajnom nacrtu komponenata, koji je stvarni izgled komponente pri pogledu odozgo (tlocrt) s dodatnim oznakama korisnima za ugradnju (primjerice znak + na mjestu izvoda elektrolitskog kondenzatora na koji se priključuje pozitivniji potencijal ili brojka **1** uz prvi izvod rednog konektora koji je simetričan oko poprečne osi).

A	B	C	D
DIODA (1N4148) V1, V7 - V10, V14			podrazumijeva se tlocrt
ELEKTROLITSKI KONDENZATOR (100u / 63V) C7, C8			
TRANZISTOR (BDX53) T1, T2			poznato
INTEGRIRANI KRUG (74HCT245) D1 - D4	poznato	DIP-20	poznato

A: vrsta, (naziv) komponente i popis komponenata te vrste u električkoj shemi
B: električki simbol s upisanim rednim brojevima izvoda
C: tlocrt s upisanim rednim brojevima izvoda
D: izgled na položajnom nacrtu komponenata

Tablica 1.3. Primjeri opisa komponenata u sklopu ulaznih zahtjeva procesa projektiranja tiskanih pločica

Svi ti podaci se, ukoliko već ne postoje, unose u računalni skup podataka o komponentama (baza podataka, biblioteka) primjenom pripadajućeg dijela izabranog CAD programa.

2.1.2. Popis električkih veza (spojeva)

Popis električkih veza se najčešće zadaje električkom shemom u pisanom obliku, pa ju je potrebno ucrtati preinačivši je sukladno simbolnom dijelu primjenjenog računalnog skupa podataka o komponenatma te značajkama samog shematskog dijela programa.

2.1.3. Tehnološke odrednice

Temeljne značajke tehnološkog procesa koji se namjerava primjeniti za izradu tiskane pločice, a koje utječu na postupke projektiranja tiskanih veza, opisuju se ostvarivim brojem vodljivih slojeva te najmanjim geometrijskim dimenzijama elemenata vodljivih likova (uključujući navode graničnih odstupanja od nazivnih vrijednosti - tolerancije), i to

- širine vodova,
- razmaka između vodova i
- promjerima prospojnih rupa.

Dodatno je potrebno navesti i konačnu debljinu bakrenog sloja i nosive izolacijske podloge, te nanose li se završni slojevi kositar-olova i zaustavnog laka, budući da ti podaci znatno utječu na vrijednosti električkih parametara tiskanih veza. Iz predviđenog postupka ugradnje i posebice lemljenja proizlaze zahtjevi za najmanjom potrebnom širinom prstena lemnih točaka, te geometrijom tiskanih vodova u neposrednoj okolini spoja s lemnom točkom (da bi se spriječilo pretjerano ili nepravilno odvođenje topline s lemnog mjesta).

2.1.4. Dodatni električki, mehanički i toplinski zahtjevi

Za potpunost ulaznih zahtjeva potrebno je odrediti još i mehaničke, toplinske i poglavito električke uvjete i ograničenja na položaj komponenata i izgled vodljivih likova na tiskanoj pločici. Slijedi pregled najvažnijih zahtjeva iz kojih se, zajedno s prethodno opisanim tehnološkim odrednicama, izvodi skup pravila projektiranja tiskanih veza (Slika 1.10.).

- Geometrijski oblik i dimenzije pločice te položaji i promjeri rupa za njeno učvršćenje.
- Smještaj komponenata kojima je položaj predodređen mehaničkom konstrukcijom cjelokupnog uređaja, pa se ne smije mijenjati. Takve komponente su primjerice konektori, prikazne i signalizacijske komponente te potenciometri, preklopke i tipke.
- Položaj komponenata kao što su promjenjljivi otpornici i kondenzatori, pomoću kojih se namještaju vrijednosti parametara sklopovlja tijekom umjeravanja, pa im se mora osigurati prikladan pristup.

- Smještaj komponenata koje se zagrijavaju tijekom rada, zajedno s pripadajućim hladilima i opisom načina pričvršćenja. Naime njihov bi proizvoljni smještaj mogao utjecati na električke značajke temperaturno osjetljivih dijelova sklopa poput mjernih pojačala ili analogno-digitalnih pretvornika.
- Podjela komponenata u grupe prema frekvencijskim značajkama i osjetljivosti na elektromagnetske smetnje dijela sklopa kojem pripadaju, te položaj tih grupa na pločici.
- Geometrijske i topološke (način razvođenja) značajke vodova napajanja, osobito ukoliko ih postoji više i ako su međusobno galvanski odvojeni (gotovo uvijek kod sklopova koji sadrže i analogne i digitalne dijelove). To je posebno važno za vod napajanja referentnog potencijala (masu), čija izvedba bitno utječe na sveukupne električke značajke sklopovlja, poglavito analognog.
- Posebna geometrijska izvedba pojedinih signalnih vodova, najčešće zbog vrlo visokih frekvencija (analogni sklopovi) odnosno vrlo kratkih vremena porasta i pada (digitalni sklopovi), koji se u tim uvjetima ponašaju kao električne linije.
- Električke veze kojima tijekom rada teku struje veće od nekoliko desetaka mA i one između kojih je tijekom rada razlika potencijala veća od nekoliko desetaka V. Tiskani vodovi kojima se ostvaruju takve veze moraju biti širi (električki vodljiviji) s povećanim međusobnim razmakom.

Česta posljedica ispunjavanja navedinih zahtjeva glede položaja komponenata i izvedbe pojedinih vodljivih likova je nepovoljni smještaj s motrišta povezivanja i smanjeni raspoloživi dio površine pločice za preostale tiskane veze.

2.1.5. Električka shema

Ispravno nacrtana električka shema električki potpuno i jedinstveno opisuje sklopovlje jedne zasebne cjeline elektroničkog uređaja, koja se izvedbeno najčešće smješta na jednu tiskanu pločicu. Sadrži simbole svih komponenata, te sve njihove međusobne električke veze. Za svaku komponentu obvezno je upisati njenu slovnu-brojnu oznaku, primjerice D7, koja ju jedinstveno opisuje i ujedno povezuje sa skupom podataka o komponentama u kojem su pohranjene njene sveukupne značajke.

OZNAKA	VRSTA KOMPONENATA
A	analogni integrirani sklopovi
B	pretvornici neelektričnih veličina u električne
C	kondenzatori i promjenljivi kondenzatori
D	digitalni integrirani sklopovi
E	komponente za rasvjetu i grijanje
F	komponente za zaštitu (osigurači, VDR-otpornici)
G	izvori (generatori)
H	komponente za svjetlosnu i zvučnu signalizaciju (svjetleće diode, zvučnici, zvonca, zujala)
K	releji
L	induktivne komponente, zavojnice
M	motori
P	mjerni uređaji (instrumenti, brojila, satovi)
Q	kristali i kristalni filtri
R	otpornici, promjenljivi otpornici (trimeri i potenciometri), otporničke mreže
S	sklopke, preklopke, tipkala
T	transformatori
U	modulatori
V	diskretne poluvodičke komponente
W	prijenosni putovi (žice, sabirnice, antene, kratkospojnici)
X	priključne komponente (konektori, utičnice, stezaljke, ispitni šiljci)

Tablica 1.4. IEC normama preporučene slovne oznake za pojedine vrste elektroničkih komponenata

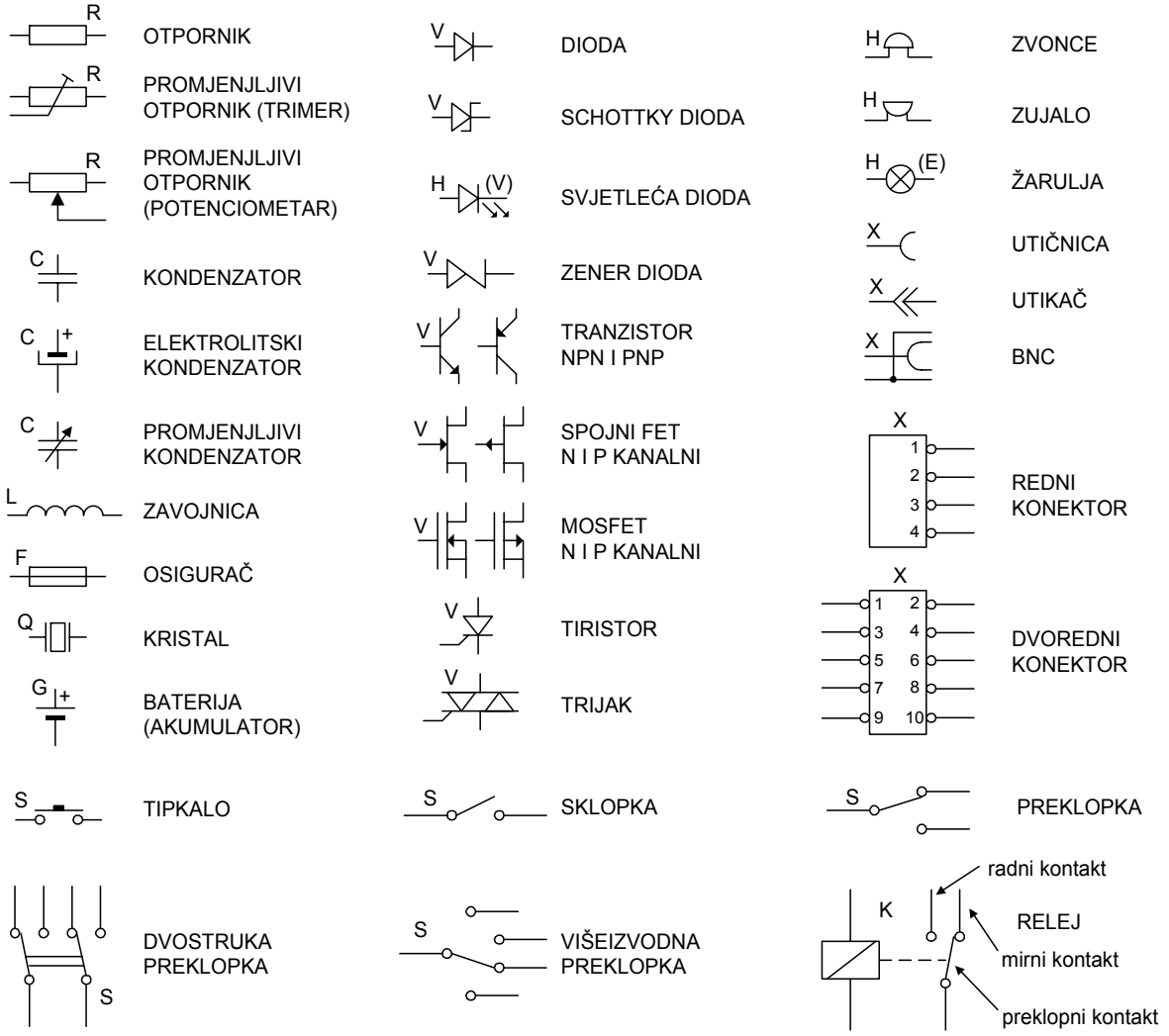
Za postupak projektiranja tiskanih veza, kojem je električka shema tek slikovni način unosa opisa veza (*netlist*), takva električka shema može se smatrati potpunom. No budući da je električka shema ujedno i temeljni dio tehničke dokumentacije neophodne tijekom razvoja, ispitivanja, umjeravanja i održavanja elektroničkih uređaja, preporučljivo je, zbog učinkovitosti tih postupaka, upotpuniti njen sadržaj. Tako se uz oznake upisuju i

bitne električke i mehaničke značajke komponenata, iako se one u potpunosti navode u zasebnom dijelu tehničke dokumentacije. Za integrirane krugove i diskretne poluvodičke komponente prikladni dodatni podaci su naziv i vrsta kućišta, a za pasivne nazivna vrijednost svojstvene (otpor, induktivitet, kapacitet) i utjecajnih (napon, struja, snaga) električnih veličina (Tablica 1.5.). Količinu tih podataka potrebno je odmjeriti sukladno raspoloživom prostoru, tako da ne utječu na preglednost električke sheme.

VRSTA	OZNAKA	NAZIV	KUĆIŠTE	*	***
Integrirani krug	D7	74HCT573	DIP-20	-	-
Tranzistor	V3	BD136	TO-126	-	-
Otpornik	R13	-	-	10k	1W
Kondenzator	C4	-	-	100n	250V
* : nazivna vrijednost svojstvene električne veličine, *** : nazivna vrijednost utjecajnih električnih veličina					

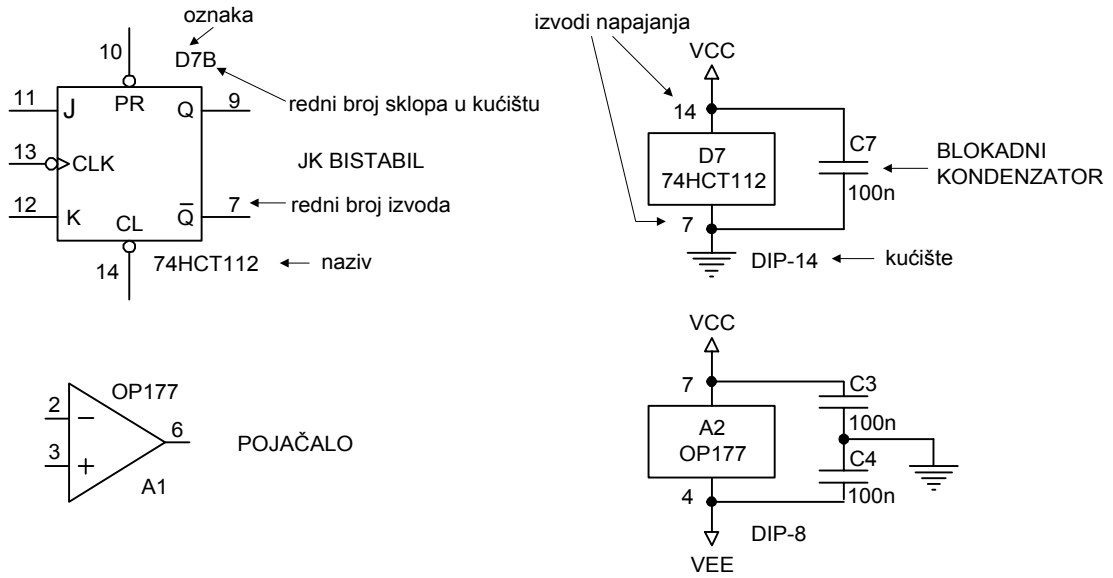
Tablica 1.5. Primjeri opisa komponenata u električkoj shemi

Kao i za navedene oznake (Tablica 1.4.), postoje također i IEC preporuke za simbole elektroničkih komponenata (posebice digitalnih integriranih krugova) u električkim shemama, no vrlo se rijetko primjenjuju, iako su podržani u glavnini novijih elektroničkih CAD programa. Stoga je prikazan (Slika 1.11.) pregled simbola koje se, uz primjenu IEC oznaka, preporučuje studentima tijekom izrade programa u sklopu laboratorijskih vježbi.



Slika 1.11. Simboli i oznake često primjenjivanih diskretnih elektroničkih i elektromehaničkih komponenata

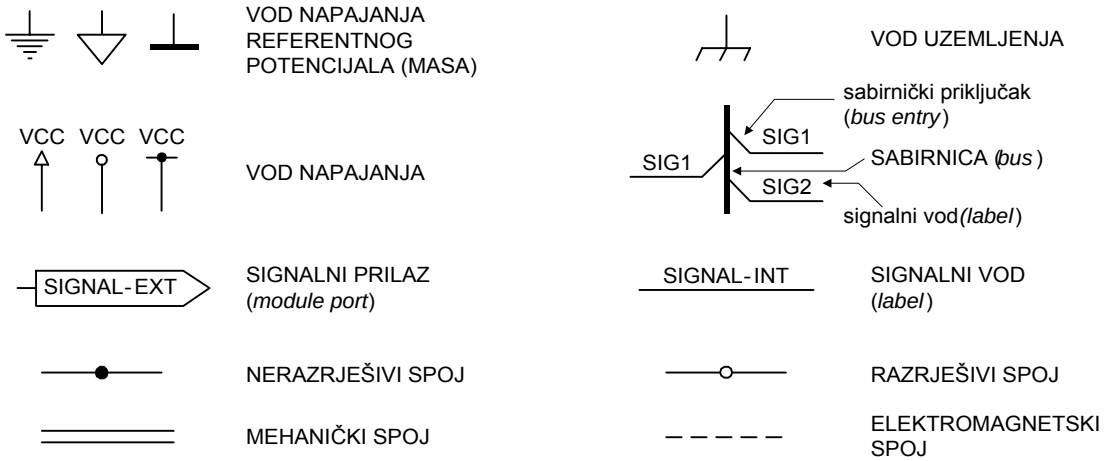
Povrh toga prikazan je mogući način upotpunjavanja električke sheme s motrišta učinkovitijeg projektiranja tiskanih veza i preglednosti tehničke dokumentacije. Odnosi se na izvode napajanja integriranih krugova i njima pridružene blokadne kondenzatore.



Slika 1.12. Predloženi opis digitalnih i analognih integriranih krugova u električkim shemama

U shematskim dijelovima glavnine elektroničkih CAD programa izvodi napajanja integriranih krugova su skriveni unutar simbola, te se ne vide na električkoj shemi. To nije zapreka potpunosti opisa veza koji se iz sheme izvodi (ukoliko se program ispravno primjenjuje), a opravdano je zbog povećane preglednosti. Naime u okolini integriranih krugova, zbog velikog broja njihovih izvoda po jedinici površine simbola, ionako je povećana gustoća vodova, a vodovi napajanja nemaju funkcijski značaj i njihovo postojanje se podrazumijeva. S druge pak strane povoljno je istaknuti izvode napajanja posebice zbog projektiranja odgovarajućih vodova na tiskanoj pločici, koje se gotovo uvijek izvodi ručno jer su to redovito presudni vodovi za sveukupne značajke sklopovlja.

Stoga je ponuđen mogući način (Slika 1.12.) kojim se može uskladiti oba zahtjeva te dodatno i predodrediti položaj blokadnih kondenzatora na tiskanoj pločici, a koji bitno utječe na pouzdanost rada sklopovlja. Dodatno se za složenije sklopove preporučuje hijerarhijsko (modularno, u više povezanih datoteka) ucrtavanje električke sheme. Time se poboljšava funkcijska preglednost, a simboli i oznake su krupniji (ista količina na više papira) što povećava čitkost. Zbog istih razloga povoljno je izbjegavati dugačke neravne vodove i njihova pretjerana međusobna križanja, koristeći posebne simbole (Slika 1.13.) vodova napajanja, signalnih vodova, signalnih prilaza (između modula hijerarhijske sheme) te sabirnica. Posebice je to značajno za vodove napajanja.



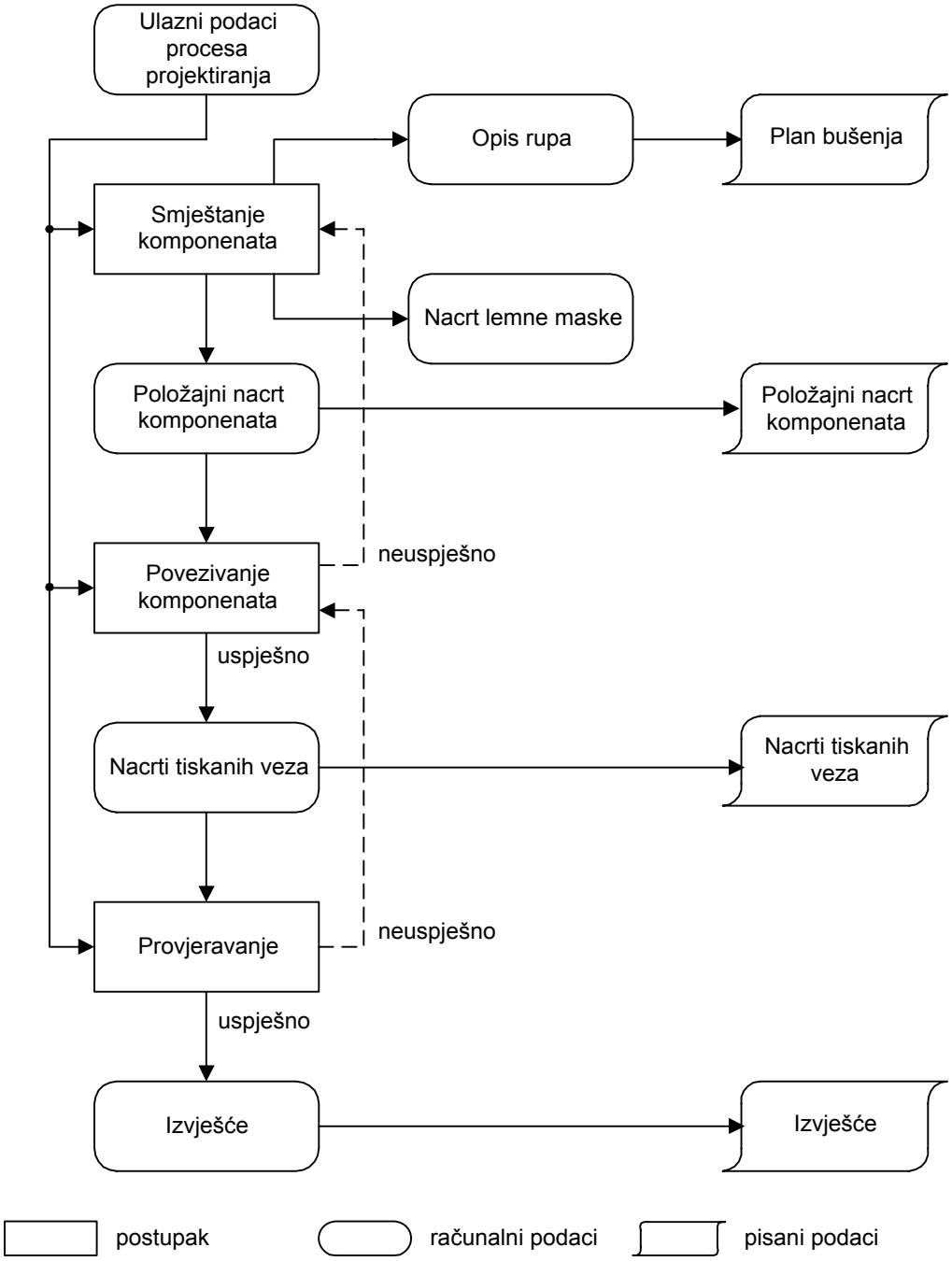
Slika 1.13. Posebni simboli u električkim shemama

Na ispravno nacrtanoj električkoj shemi trebali bi se dakle vidjeti i raspoznavati **svi izvodi svih komponenata** koje se u izvedbi ugrađuju na tiskanu pločicu, uključujući elektromehaničke (konektori, podnožja, zaštitni oklopi, ispitni šiljci) i elektrotermičke (hladila, ventilatori). Diskretnim komponentama se obično ne prikazuju redni brojevi (nazivi) izvoda, budući da ih je malo, a oblik simbola ih nedvosmisleno funkcijski određuje (primjerice izvodi baze, emitera i kolektora bipolarnog tranzistora). Štoviše za neke je, poput otpornika, redoslijed izvoda i nebitan jer su jednakovrijedni.

Iz električke sheme se izvodi opis veza (*netlist*), koji zajedno sa skupom podataka o komponentama te skupom pravila projektiranja (Slika 1.10.) tvori skup računalnih ulaznih podataka procesa projektiranja tiskanih veza. Time je postupak obrade ulaznih zahtjeva i pripreme procesa okončan.

2.2. Projektiranje tiskanih veza

Projektiranje tiskanih veza je iterativni proces koji obuhvaća smještanje komponenata na tiskanu pločicu i njihovo povezivanje, te naposlijetku provjeru sukladnosti obaju postupaka s ulaznim podacima (Slika 1.14.).



Slika 1.14. Projektiranje tiskanih veza

Podrazumijeva se cjelovitost ulaznih podataka, dakle potpuni opis ugradbenih elektroničkih komponenata i električkih veza između njih (*netlist*) te određena pravila projektiranja.

Glavnina izlaznih podataka uspješno izvedenog procesa projektiranja tiskanih veza su nacrti različitih maski za selektivne zahvate na tiskanoj pločici tijekom tehnološkog procesa njene izrade. Utoliko je i samo projektiranje po načinu izvedbe zapravo tehničko crtanje primjenom računala. **Sve se crta u mjerilu, gledano sa strane komponenata, po rasteriziranoj površini.** Programi za projektiranje tiskanih veza koriste inčni raster (*grid*), kojem su prilagođene i geometrijske dimenzije (razmaci između izvoda) glavnine elektroničkih komponenata.

2.2.1. Smještanje komponenata na tiskanu pločicu

U sklopu dodatnih ulaznih električkih, mehaničkih i toplinskih zahtjeva (poglavlje 2.1.4.) procesa projektiranja tiskanih veza predodređen je položaj dijela komponenata na tiskanoj pločici. Te komponente postavljaju se prve na zadana mjesta i to redovito ručno. Smještanje ostatka komponenata može se prepustiti računalnom programu (*autoplacement*). Usprkos vrhunskim nazivnim značajkama matematičkih algoritama koji se za to primjenjuju, zbog osobitosti ulaznih zahtjeva svake primjene, rezultati najčešće nisu u potpunosti zadovoljavajući, ali su prihvatljivo polazište za završne ručne zahvate.

Izlazni podaci postupka sadržani su u položajnom nacrtu komponenata koji prikazuje tiskanu pločicu nakon ugradnje komponenata, zajedno s ucrtanim lemnim točkama na mjestima izvoda komponenata. Ti podaci ujedno su i ulazni za postupak povezivanja, te svojim značajkama predodređuju njegovu uspješnost i uopće ostvarivost.

Pravila smještanja komponenata

- Komponente pravokutnog tlocrta postavljaju se međusobno ili usporedno ili okomito, a ukoliko je tiskana pločica pravokutnog oblika onda i usporedno s njenim rubovima.
- Komponente s osnim izvodima, poput otpornika, namijenjene su vodoravnoj ugradnji te ih je tako potrebno i smjestiti na pločicu. U slučaju pomanjkanja prostora te ako je k tome prihvatljiva i povećana osjetljivost sklopa na mehanička naprezanja, iznimno je dopustiva i okomita ugradnja.
- Osigurati potrebni razmak između komponenata, ovisno o tolerancijama njihovih geometrijskih dimenzija te načinu njihove ugradnje na tiskanu pločicu.
- Istovrsne komponente i komponente u istovrsnim kućištima (primjerice integrirani krugovi u DIL kućištu) postavljaju se u istom smjeru i s istom orijentacijom, čime se smanjuje mogućnost pogrešaka tijekom njihove ugradnje.

Predloženi postupak smještanja komponenata

- Ucrtati rubove pločice i rupe za njeno učvršćenje.
- Postaviti komponente kojima je položaj predodređen mehaničkom konstrukcijom uređaja.
- Razmotriti električku shemu (i zbog toga je bitna njena preglednost) te ju razdijeliti na grupe komponenata prema električkim (zajedničko napajanje, male vrijednosti analognih signala, osjetljivost na smetnje, velike vrijednosti napona ili struja, visoka frekvencija rada ili vrlo kratka vremena porasta i pada, izvori elektromagnetskih smetnji) i elektrotermičkim (podložnost temperaturnim utjecajima, izvori zagrijavanja) značajkama. Grupe najčešće sadrže po nekoliko integriranih krugova kojima se glavnina signalnih veza zatvara unutar same grupe, te tim integriranim krugovima električki bliske diskretne komponente.
- Skicirati raspored grupa na pločici nastojeći zadovoljiti sljedeće zahtjeve.
    - Udaljiti komponente koje proizvode elektromagnetske smetnje od komponenata koje su na njih osjetljive.
    - Smjestiti komponente koje se zagrijavaju tijekom rada iznad (uz gornji rub pločice ako je pločica predviđena za okomitu ugradnju u uređaju) temperaturno osjetljivih komponenata.
    - Osigurati mogućnost pravilnog razvođenja napajanja posebice za integrirane krugove.
    - Omogućiti pravilni pristup komponentama za namještanje (promjenljivi otpornici ili kondenzatori) ovisno o načinu ugradnje pločice u uređaju.
    - Prostornim položajem komponenata slijediti električki put signala. Time se pojednostavljuje povezivanje komponenata te postižu bolja električka svojstva sklopa.
    - Pravilno rasporediti masivne komponente (transformatori, releji, hladila) zbog mogućih mehaničkih naprezanja pločice ili konektora. Ako je potrebno, predvidjeti prostor za njihovo dodatno učvršćivanje vijcima ili obujmicama.
- Postavljati komponente po veličini, od najvećih (integrirani krugovi) prema najmanjima (diskretne komponente) tako da se što veći broj veza može ostvariti što kraćim i ravnijim tiskanim vodovima.
- Blokadne kondenzatore postaviti u neposrednoj blizini izvoda napajanja pripadajućih integriranih krugova.

Preporuke pri smještanju komponenata

- Postavljati komponente pri grubljoj rasterizaciji površine pločice (100 ili 50mila) od predviđene za postupak povezivanja komponenata (50 ili 25mila). Time se znatno olakšava pravilno povezivanje, posebice ako se izvodi ručno.
- Komponente odmaknuti barem 2mm od rubova tiskane pločice, te međusobno razmaknuti barem 1mm.
- Pokušati ostvariti što jednolikiju površinsku gustoću i komponenata i njihovih izvoda.
- Razmatrati moguće poteškoće pri projektiranju vodova napajanja, posebice sklopovlja u frekvencijski ili mjeriteljski zahtjevnim primjenama.

2.2.2. Povezivanje komponenata na tiskanoj pločici

Nakon smještanja komponenata slijedi povezivanje njihovih izvoda tiskanim vodovima prema opisu veza izvedenom iz električke sheme sklopovlja, a sukladno pravilima projektiranja. Taj postupak je najvažniji i najteži u cjelokupnom procesu projektiranja tiskanih pločica. Izlazni podaci su nacrti tiskanih veza svih vodljivih slojeva pločice.

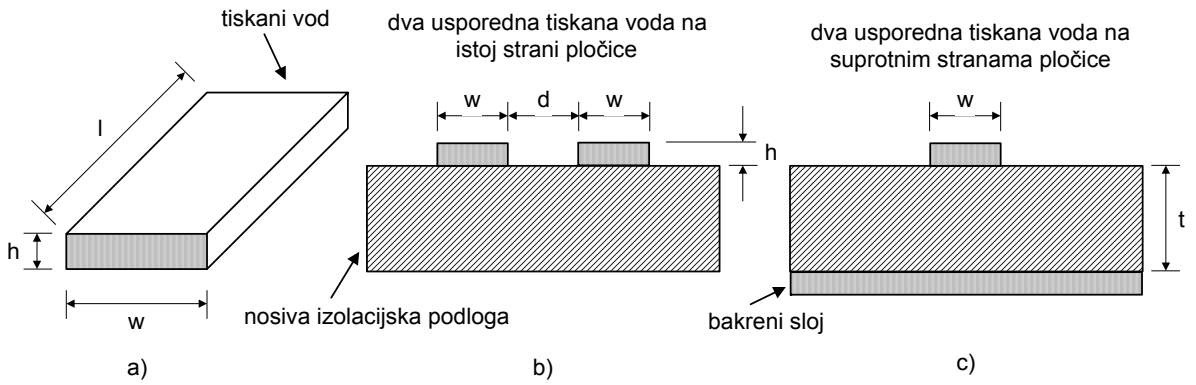
Redoslijed i način projektiranja pojedinih vodova određen je utjecajem njihove izvedbe na sveukupne značajke sklopovlja. Stoga se prvo, dok je još cjelokupna površina pločice raspoloživa, projektiraju vodovi napajanja počevši s vodom referentnog potencijala, i to redovito ručno. Nakon toga postavljaju se signalni vodovi s posebnim električkim značajkama (visoke frekvencije, vrlo kratka vremena porasta i pada, analogni signali vrlo malih vrijednosti) također najčešće ručno. Ostvarivanje preostalih signalnih veza može se prepustiti računalnom programu (*autorouting*), čiji rezultati (kao i pri smještanju komponenata) nisu u potpunosti prihvatljivi te zahtijevaju ručnu doradu. U slučaju postojanja velikog broja signalnih vodova bez osobitih električkih zahtjeva, primjena automatskog računalnog povezivanja može znatno olakšati i ubrzati cjelokupni proces projektiranja tiskanih veza. Ukoliko nije moguće ostvariti sve električke veze u zadanom broju vodljivih slojeva, potrebno je načiniti ispravke položajnog nacrta komponenata te ponoviti postupak ili (ako je broj neostvarenih veza značajan) povećati broj slojeva.

Povezivanje komponenata izvodi se sukladno pravilima projektiranja, koja određuju potrebne geometrijske značajke vodljivih likova u ovisnosti o

- vrijednostima njihovih (parazitnih) električkih parametara,
- radnim naponsko-strujnim uvjetima i
- toplinskim svojstvima lemnih mjesta na spojevima lemnih točaka i tiskanih vodova.

Električki parametri tiskanih vodova

Najmanje ostvarive dimenzije elemenata vodljivih likova određene su mogućnostima izabranog tehnološkog postupka izrade tiskane pločice. Potrebne su pak dimenzije funkcija dopuštenih vrijednosti njihovih (parazitnih) električkih parametara i radnih naponsko-strujnih uvjeta.



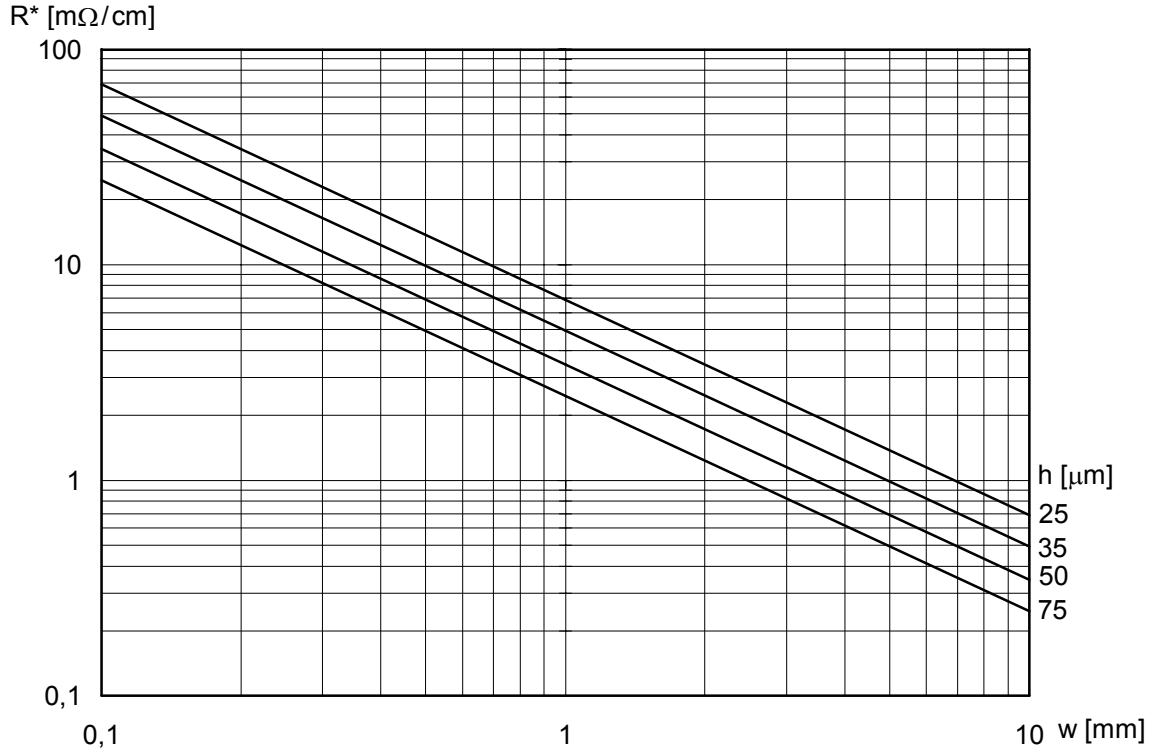
Slika 1.15. Geometrijski oblici i dimenzije tiskanih veza za koje su iskazane vrijednosti električkih parametara

Otpor tiskanih vodova **R** obično se iskazuje normirano **R*** na jediničnu duljinu voda (specifični linijski otpor).

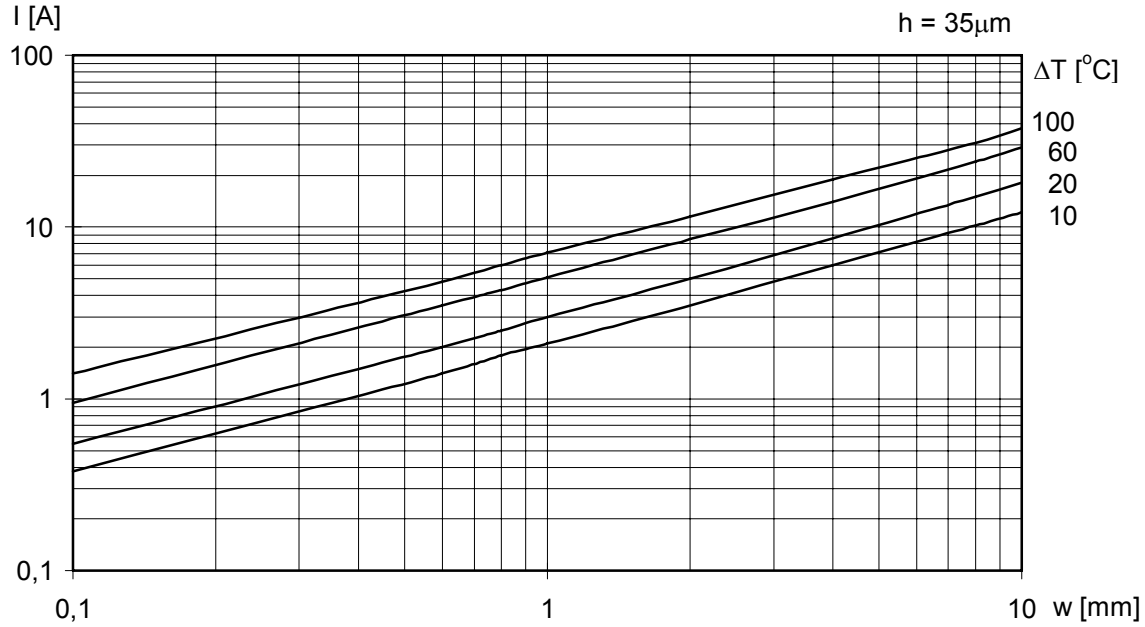
$$R_0^* = \frac{R_0}{l} = \frac{172{,}41}{w \cdot h}\ ;\ R_0^*\ [m\Omega\ /\ cm]\ ;\ l[cm]; w[mm]; h\,[\mu m] \qquad (1.1.)$$

$$R^* = R_0^* \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)\ ;\ \Delta T = T - 20\ ;\ T[^\circ C]\ ;\ \alpha = 0{,}0039^\circ C^{-1} \qquad (1.2.)$$

Ovisnost otpora o temperaturi nije značajna (povećanje otpora manje od 4% za povećanje temperature 10°C), te se uglavnom može zanemariti.



Slika 1.16. Ovisnost specifičnog linijskog otpora **R*** ravnoga tiskanog voda o njegovoj širini **w**, za različite debljine **h** bakrenog sloja



Slika 1.17. Dopuštena jakost struje kroz tiskani vod debljine **h** u ovisnosti o njegovoj širini **w**, za različite vrijednosti njegove nadtemperature **ΔT**

Posljedica protjecanja električne struje tiskanim vodom vrijednosti otpora različitom od ništice je njegovo zagrijavanje. Da to zagrijavanje ne bi bilo pretjerano potrebno je osigurati odgovarajuću širinu voda (debljina se

smatra predodređenom). Preporuča se vodove projektirati tako da im nadtemperatura (razlika njihove temperature i temperature okoline) ne bude veća od 10°C, te potom i dodatno proširiti u ovisnosti o tehnološkoj izvedbi. Po primjerice normi MIL-STD-275C neophodna su strujna podopterećenja (*derating*)

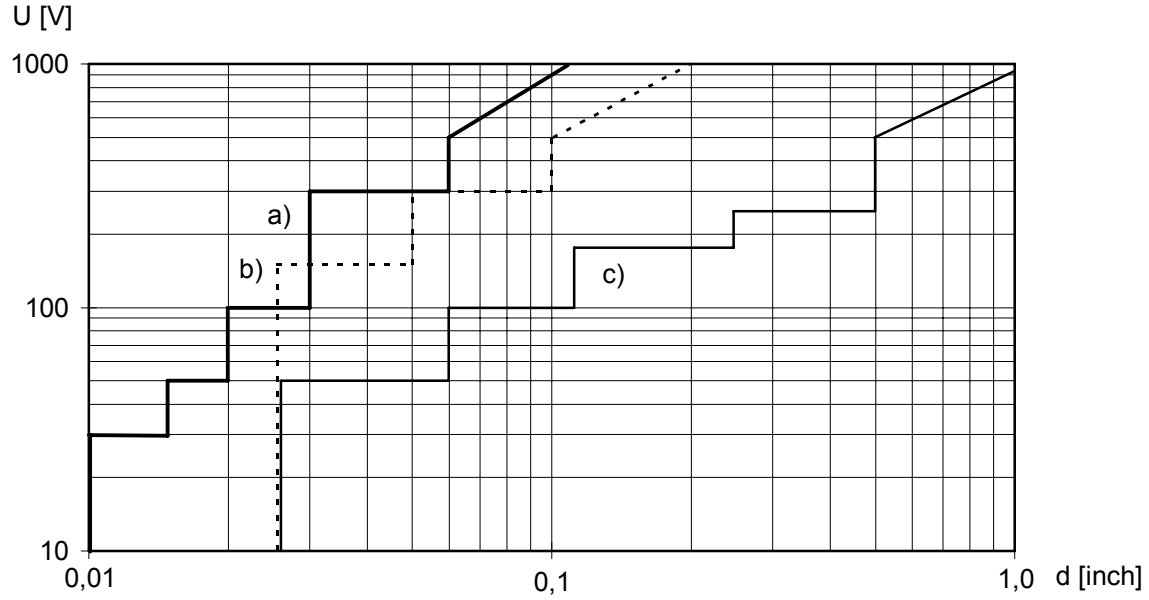
- 30% ako se na vodove nanosi zaštitni sloj kositar-olova,
- 15% ako se na pločicu nanosi zaustavni (zaštitni) lak,
- 15% ako je debljina **t** nosive izolacijske podloge manja ili jednaka 0,8mm i
- 15% ako je debljina **h** bakrenog sloja veća ili jednaka 105μm,

pa bi se dakle širina tiskanog voda sa svim prethodno navedenim izvedbenim značajkama određivala (Slika 1.17.) za jakost struju koja je 2,33 puta veće vrijednosti od stvarne.

$$\frac{1}{1-0{,}3}\cdot\frac{1}{1-0{,}15}\cdot\frac{1}{1-0{,}15}\cdot\frac{1}{1-0{,}15}=2{,}33$$

Za debljine bakrenog sloja različite od $\mathbf{h_0}$=35μm potrebno je vrijednost širine $\mathbf{w_0}$ voda određene za debljinu $\mathbf{h_0}$ pomnožiti s omjerom $\mathbf{h_0}/\mathbf{h}$.

Najmanji dopušteni razmak **d** između dvaju električki odvojenih elemenata vodljivih likova funkcija je dielektričke čvrstoće izolacijskog sloja između njih (zaštitni lak i zrak), koja pak ovisi o tehnološkoj izvedbi (nanosi li se zaštitni lak ili ne) i okolnim uvjetima rada (tlak, vlažnost, temperatura, prašina). Postoje brojne norme i preporuke različitih nacionalnih i međunarodnih strukovnih udruga kojima se propisuje taj razmak.

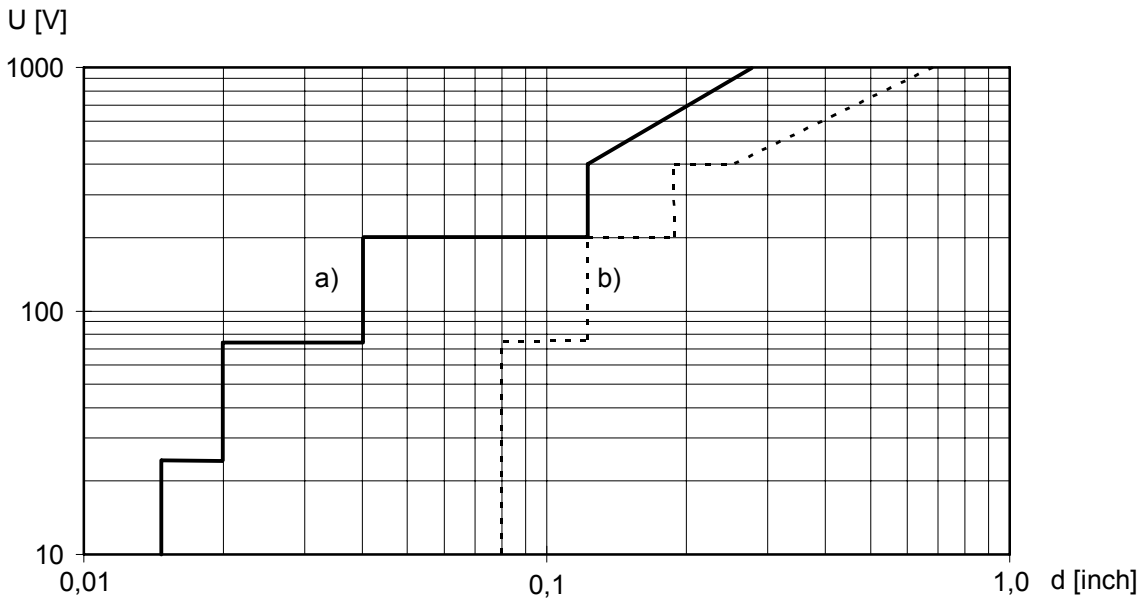


Slika 1.18. Potrebni razmak **d** između električki odvojenih elemenata vodljivih likova u ovisnosti o naponu **U** (podrazumijeva se vršna vrijednost ako je napon vremenski promjenljiv) između njih u laboratorijskim uvjetima po MIL-STD-275C za **a)** pločicu sa zaštitnim lakom, **b)** pločicu bez zaštitnog laka do 3000m nadmorske visine i **c)** pločicu bez zaštitnog laka iznad 3000m nadmorske visine

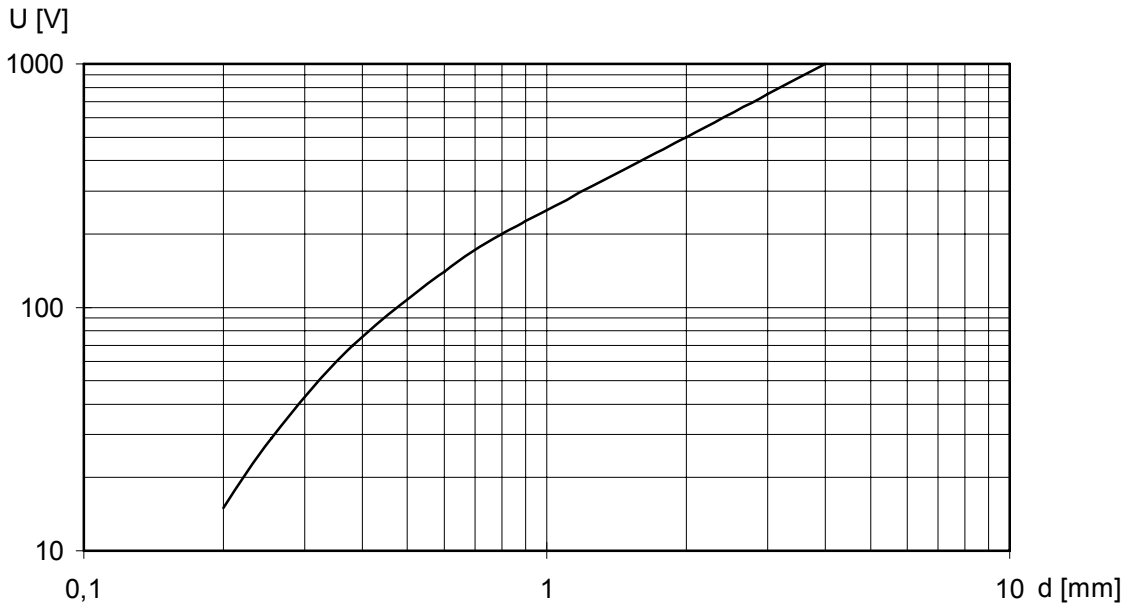
MIL-STD-275C (Slika 1.18.) primjer je vrlo zahtjevne norme za vojne primjene, a prikladan je zbog uočavanja bitne ovisnosti potrebnog razmaka između vodova (pri istom naponu između njih i u istim laboratorijskim uvjetima) o postojanju sloja zaštitnog laka te nadmorskoj visini na kojoj se sklopovlje primjenjuje. Iz starije inačice iste norme MIL-STD-275B (Slika 1.19.) uočljiv je vrlo veliki utjecaj prisutnosti čestica krutih tvari u okolini tiskane pločice, ako pločica nije zaštićena izolacijskim slojem.

Za glavninu primjena, posebice komercijalnih, te su norme pretjerano zahtjevne, ali ističu znatno manji utjecaj okolnih uvjeta na potrebni izolacijski razmak ako se na pločicu nanosi zaštitni lak. Zbog toga se, podrazumijevajući postojanje sloja zaštitnog laka na tiskanoj pločici, za određivanje potrebnog izolacijskog razmaka između vodova preporuča primjena IEC-28 preporuke (Slika 1.20.).

Sve navedeno glede izolacijskih razmaka odnosi se na tiskane veze koje su tijekom rada galvanski odvojene od elektroenergetske mreže. Ukoliko pak postoji galvanska veza, IEC-348 preporuka o sigurnosnim zahtjevima na elektroničke mjerne uređaje određuje izolacijski razmak duljine 3mm za napone do $250V_{RMS}$ između pojedinih dijelova uređaja. U slučaju pak tiskanih veza koje su nepomične, dopušteno je smanjenje izolacijskog razmaka na 2mm, no ne preporuča se.



Slika 1.19. Potrebni razmak **d** između električki odvojenih elemenata vodljivih likova u ovisnosti o naponu **U** (podrazumijeva se vršna vrijednost ako je napon vremenski promjenljiv) između njih po MIL-STD-275B za **a)** pločicu bez zaštitnog laka u laboratorijskim uvjetima i **b)** pločicu bez zaštitnog laka u prljavoj i prašnjavoj okolini, oboje do 3000m nadmorske visine



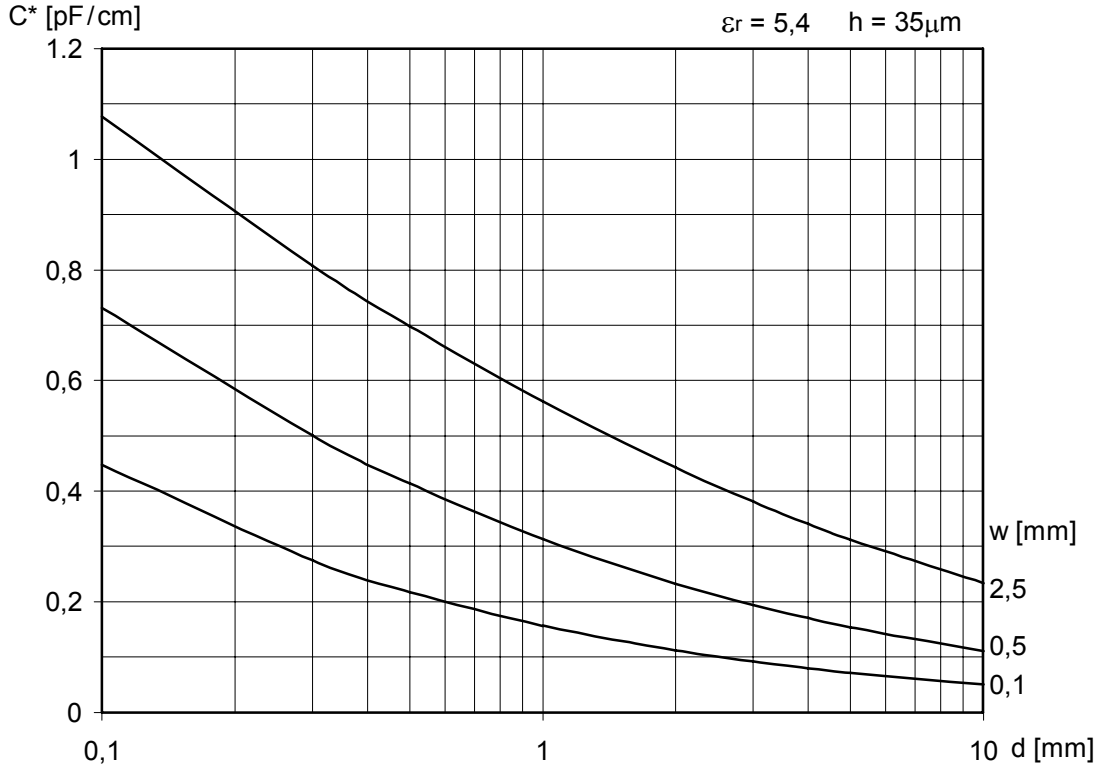
Slika 1.20. Potrebni razmak **d** između električki odvojenih elemenata vodljivih likova u ovisnosti o naponu **U** (podrazumijeva se vršna vrijednost ako je napon vremenski promjenljiv) između njih u laboratorijskim uvjetima po IEC-28 preporuci

Sljedeći bitni električki parametar tiskanih veza je kapacitet između elemenata vodljivih likova. Vrijednost mu je ovisna o geometrijskom obliku likova te se za pojedine pravilne oblike (Slika 1.15.) može jednostavno analitički odrediti. Iako su stvarni oblici likova redovito složeni i nepravilni, izvedene jednadžbe prihvatljiv su temelj za zadovoljavajuću okvirnu procjenu i njihova kapaciteta. Tako se kapacitet između dvaju usporednih ravnih vodova na istoj strani tiskane pločice (Slika 1.15.b) može izračunati iz jednadžbe

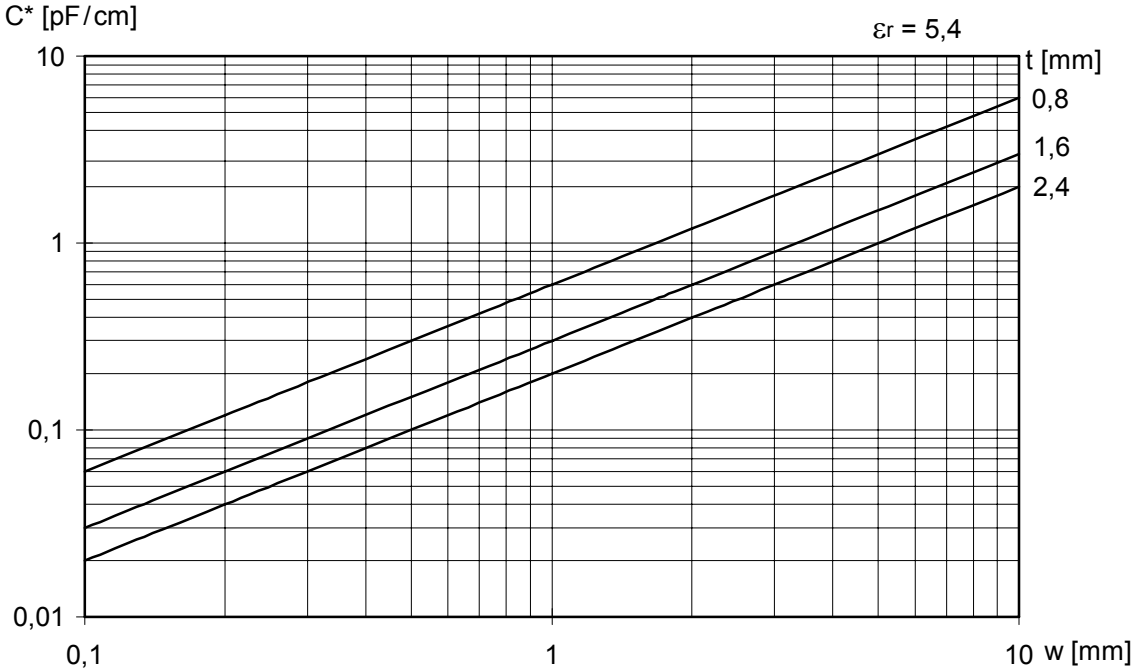
$$C^* = \frac{C}{l} = 0{,}000122 \cdot \frac{h}{d} + 0{,}0905 \cdot \left(1 + \varepsilon_r\right) \cdot \log\left(1 + \frac{2 \cdot w}{d} + 2 \cdot \sqrt{\frac{w}{d}} + \frac{w^2}{200}\right) \qquad (1.3.a)$$

$$C^* \left[pF / cm\right] ; l\left[cm\right]; d, w\left[mm\right]; h\left[\mu m\right] \qquad (1.3.b)$$

gdje je ε_r relativna dielektrička konstanta nosive podloge tiskane pločice vrijednosti 5,4 za materijale na osnovi stakla (FR-4, FR-5), odnosno 4,8 za materijale na osnovi papira (FR-2, FR-3).



Slika 1.21. Ovisnost specifičnog linijskog kapaciteta **C*** između dvaju usporednih ravnih tiskanih vodova na istoj strani tiskane pločice o njihovoj širini **w** i međusobnom razmaku **d**, uz debljinu bakrenog sloja **h** i nosivu podlogu relativne dielektričke konstante ε_r



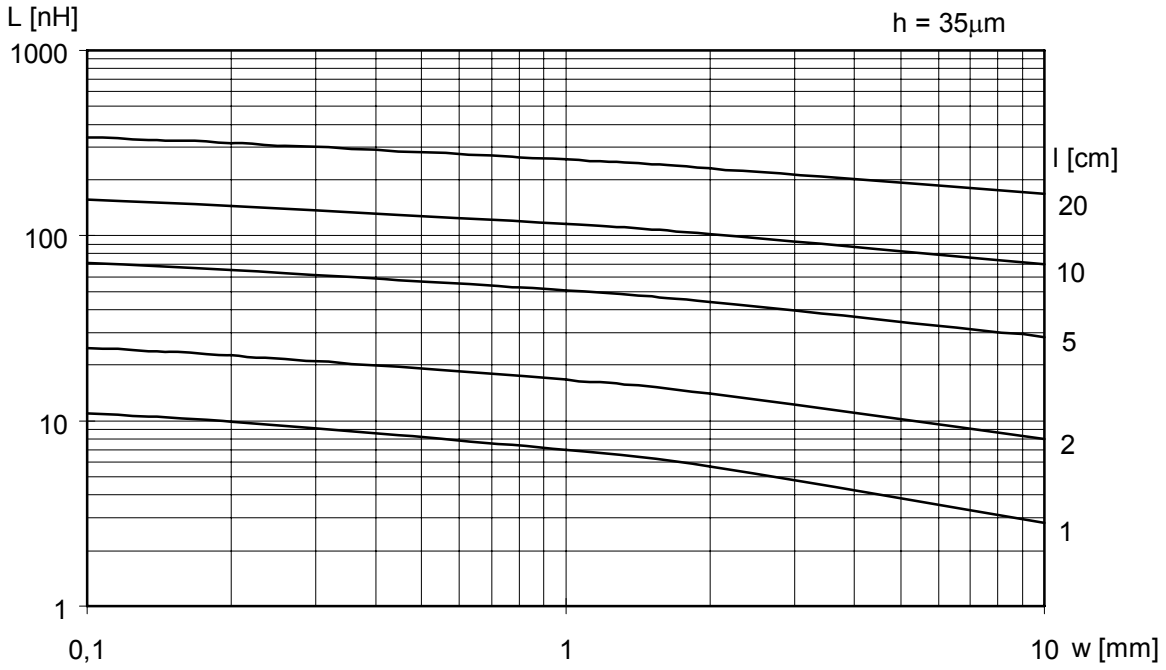
Slika 1.22. Ovisnost specifičnog linijskog kapaciteta **C*** ravnog tiskanog voda prema bakrenom sloju na suprotnoj strani tiskane pločice o njegovoj širini **w** i debljini **t** nosive podloge relativne dielektričke konstante ε_r

Kapacitet ravnog tiskanog voda prema bakrenom sloju na suprotnoj strani tiskane pločice (Slika 1.15.c) određen je jednadžbom

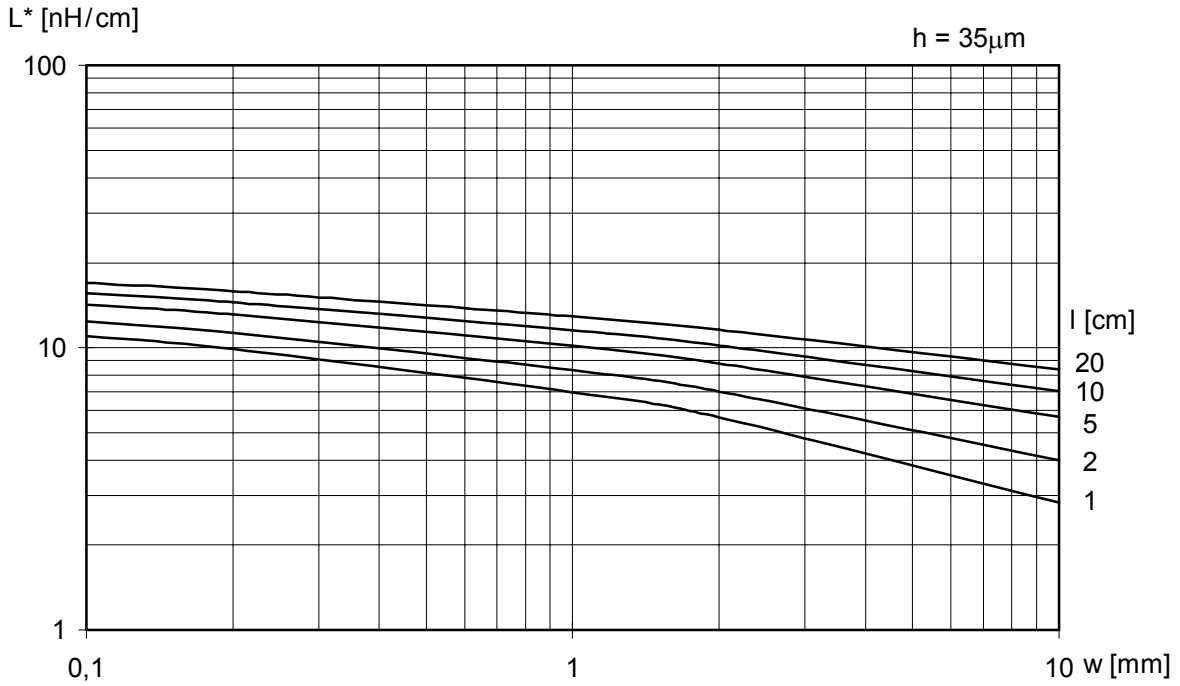
$$C^* = \frac{C}{l} = 0{,}0886 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{w}{t}\ ;\quad C^*\ [pF/cm]\ ;\ l[cm];\ w,t[mm] \qquad (1.4.)$$

Induktivitet ravnog tiskanog voda (Slika 1.15.a) može se izračunati primjenom jednadžbe

$$L^* = \frac{L}{l} = 2 \cdot \left[\ln\left(\frac{20 \cdot l}{w + 0{,}001 \cdot h} \right) + 0{,}02235 \cdot \left(\frac{w + 0{,}001 \cdot h}{l} \right) + 0{,}5 \right] \qquad (1.5.a)$$



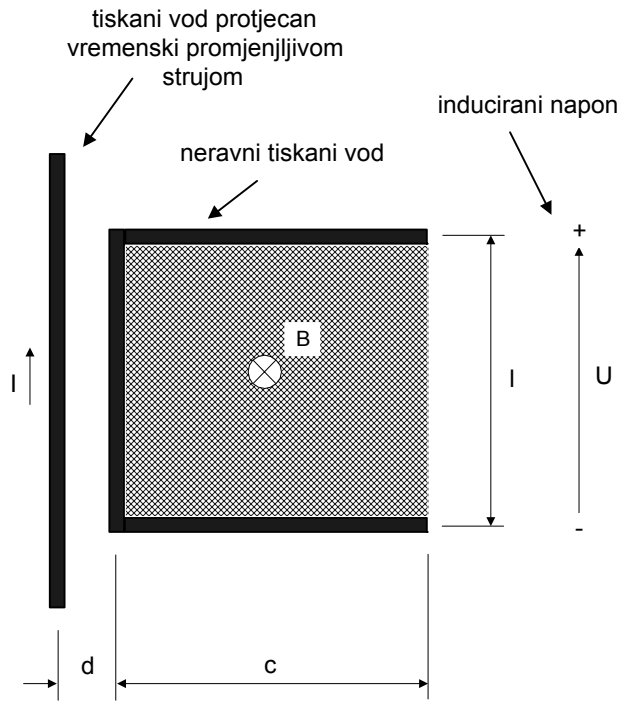
Slika 1.23. Ovisnost induktiviteta **L** ravnog tiskanog voda o njegovoj širini **w** i duljini **l**, uz debljinu **h** bakrenog sloja



Slika 1.24. Ovisnost specifičnog linijskog induktiviteta **L*** ravnog tiskanog voda o njegovoj širini **w** i duljini **l**, uz debljinu **h** bakrenog sloja

$$L^{*}\ [nH/cm]\ ;\ l[cm];\ w[mm];h[\mu m] \qquad (1.5.b)$$

Svako dodatno odstupanje oblika tiskanog voda od pravca povećava mu induktivitet. Povrh toga neravni tiskani vod između svojih krajeva zatvara površinu (Slika 1.25.) kroz koju se zatvaraju silnice i vanjskih magnetskih polja i magnetskih polja prouzročenim protjecanjem struja kroz ostale vodove na tiskanoj pločici.



Slika 1.25. Inducirani napon **U** na krajevima neravnog tiskanog voda kao posljedica protjecanja vremenski promjenjljivog magnetskog polja **B** (prouzročenog protjecanjem struje **I** susjednim tiskanim vodom) kroz površinu koju zatvara između svojih krajeva

Posljedica vremenskih promjena tih magnetskih polja je inducirani napon

$$U=\mu_0\cdot\frac{l\cdot c}{2\cdot\pi\cdot\left(d+\frac{c}{2}\right)}\cdot\frac{\Delta I}{\Delta t}\ ;\ \text{za: } d<<\frac{c}{2}\Rightarrow\frac{\frac{U}{l}}{\frac{\Delta I}{\Delta t}}=4\,nH/cm \qquad (1.6.)$$

između krajeva razmatranog voda, koji po vrijednosti može biti znatno veći od napona prouzročenih vlastitim induktivitetom i vremenskim promjenama vlastite struje.

Razmatrajući navedene jednadžbe i prikazane krivulje funkcijskih ovisnosti električkih parametara tiskanih veza o njihovim geometrijskim oblicima, mogu se odrediti njihove orijentacijske vrijednosti i značajke, korisne prilikom projektiranja.

Signalni vodovi - vodovi širine nekoliko desetinki milimetra (0,2 do 0,4mm, najčešće 0,3mm $\approx$ 12mila)

- Vrijednosti otpora **R*** oko **10mΩ/cm**. Povoljno je smanjiti duljinu vodova.
- Vrijednosti kapaciteta **C*** oko **1pF/cm**, s pretežitim utjecajem kapaciteta između vodova na istoj strani tiskane pločice (jednadžba 1.3.). Povoljan je što veći međusobni razmak i što kraći zajednički usporedni put susjednih vodova, te udaljavanje vodova digitalnih od vodova analognih signala.
- Vrijednosti induktiviteta **L*** reda **10nH/cm**. Povoljni su što kraći i ravniji vodovi, sa što manjom površinom koju zatvaraju između svojih krajeva, te udaljavanje vodova digitalnih od vodova analognih signala.

Vodovi napajanja - vodovi širine nekoliko milimetara (1 do 5mm, najčešće 1,5mm $\approx$ 60mila)

- Vrijednosti otpora **R*** oko **1mΩ/cm**. Povoljno je povećati širinu i smanjiti duljinu vodova.
- Vrijednosti kapaciteta **C*** oko **1pF/cm**, s pretežitim utjecajem kapaciteta između vodova na suprotnim stranama tiskane pločice (jednadžba 1.4.). Povoljna je što veća širina vodova.
- Vrijednosti induktiviteta **L*** reda **10nH/cm**. Povoljni su što kraći, širi i ravniji vodovi.

Za sveukupne električke značajke tiskanih vodova povoljni su što kraći i ravniji oblici, a za vodove napajanja i što širi. Osobito je značajna duljina vodova, budući da o njenom odnosu prema frekvencijskim

značajkama pripadajućih signala ovisi utjecaj pojava svojstvenih električnim linijama (posebice refleksija). Ukoliko nije zadovoljen približni uvjet (za okvirnu procjenu)

$$l < t_r\,,\ t_f\ ;\ l[\mathrm{cm}]\ ;\ t_r\,,\ t_f\,[\mathrm{ns}] \tag{1.7.a}$$

za digitalne (vremenski diskretne) signale (**t_r** i **t_f** su vremena porasta i pada), odnosno

$$l < \frac{300}{f_g}\ ;\ l[\mathrm{cm}]\ ;\ f_g = f_{-3\mathrm{dB}}\ [\mathrm{MHz}] \tag{1.7.b}$$

za analogne (vremenski kontinuirane) signale (**f_g** je granična frekvencija), tiskani vodovi duljine **l** ponašaju se kao električne linije sa svojstvenom impedancijom kao ključnim parametrom. Za takve tiskane veze primjenjuju se posebne (primjerice mikrostrip) tehnike projektiranje i tehnologije izrade.

Pravila povezivanja komponenata

- Nacrti tiskanih veza (kao i nacrti svih preostalih maski tehnološkog procesa izrade) na svim vodljivim slojevima izrađuju se gledano s komponentne (gornje) strane.
- Na svim nacrtima ucrtavaju se rubovi tiskane pločice.
- Na svim nacrtima tiskanih veza obvezno je upisati slovno-brojevni natpis na propisni način. Budući da se nacrti izrađuju gledano s komponentne strane, filmove donjih slojeva (za dvostrane veze to je samo lemna strana, a za višeslojne svi donji slojevi) potrebno je u postupcima izrade pločice okrenuti zrcalno. Da bi se na prozirnom filmu znalo što je normalna a što zrcalna orijentacija, dogovorno se slovno-brojevni natpis upisuje na sve gornje slojeve normalno, a na sve donje zrcalno. Tada je prava orijentacija filma ona pri kojoj je slovno-brojevni natpis čitak gledano sa strane pločice na koju se film postavlja.
- Širine vodova i razmaci između elemenata vodljivih likova moraju se prilagoditi stvarnim radnim strujno-naponskim i okolnim uvjetima.
- Vanjske promjere lemnih točaka (podrazumijevaju se kružni oblici) potrebno je prilagoditi promjerima lemnih rupa u koje se lemljenjem ugrađuju izvodi komponenata. Vanjski promjer **d_{LT}** lemne točke treba biti oko dva puta veći od promjera **d_{LR}** lemne rupe (a koji treba biti barem 0,1mm veći od promjera **d_I** pripadajućeg izvoda komponente), uz širinu lemnog prstena vrijednosti barem 0,3mm. Za pravokutne oblike lemnih točaka promjerom **d_{LT}** može se smatrati aritmetička sredina duljine duže stranice i duljine dijagonale, uz uvjet da je kraća stranica barem 0,4mm veća od promjera lemne rupe.

$$d_{LT} \approx 2 \cdot d_{LR} \quad \& \quad d_{LT} - d_{LR} \geq 0{,}6\,\mathrm{mm}\ ;\ d_{LR} - d_I \geq 0{,}1\,\mathrm{mm} \tag{1.8.}$$

Predloženi postupak povezivanja komponenata

- Odrediti širinu voda napajanja referentnog potencijala (masa) ukoliko se za tu svrhu ne namjerava koristiti posebni sloj (*ground plane*) tiskanih veza, i to na temelju strujnog opterećenja i osjetljivosti sklopovlja na smetnje prouzročene strujama kroz zajedničke impedancije. Za struje do stotinjak miliampera preporuča se širina barem 60mila (≈1,5mm), a za veće struje i razmjerno veća.
- Odrediti širinu preostalih vodova napajanja ako se za tu namjenu ne primjenjuje posebni (*power plane*) sloj tiskanih veza, a iz istih uvjeta kao za vod mase. Za struje do stotinjak miliampera preporučljiva širina je barem 40mila (≈1,0mm), a za veće struje i razmjerno veća.
- Odrediti širinu signalnih vodova. Preporučljiva širina za vodove kojima teku struje do desetak miliampera je 12mila (≈0,3mm), a za veće struje i razmjerno veća.
- Ovisno o naponskim radnim uvjetima odrediti potrebne razmake između vodova. Za razlike potencijala između elemenata vodljivih likova do desetak volta preporučljivi razmak je 12mila (≈0,3mm), a za veće napone i razmjerno veći.
- Provjeriti usklađenost predviđenih širina svih vodova s jakostima struja koje kroz njih teku (Slika 1.17.), posebice za signalne vodove protjecane vrlo velikim strujama u sklopovima snage.
- Provjeriti usklađenost predviđenih razmaka između elemenata vodljivih likova s vrijednostima napona između njih (Slika 1.20.). Osobitu pozornost posvetiti udaljenostima od likova izravno galvanski povezanih s elektroenergetskom mrežom, te razmacima između tiskanih veza u galvanski odvojenim električnim krugovima sklopovlja.
- Odrediti potrebne vanjske promjere lemnih točaka i promjere lemnih rupa (ako to već nije učinjeno tijekom izrade položajnog nacrta komponenata) ovisno o promjerima pripadajućih izvoda komponenata, a sukladno pravilima.
- Ukoliko se projektiraju dvostrane ili višeslojne veze potrebno je odrediti i vanjske promjere lemnih točaka na prospojima. Budući da se u prospoje ne ugrađuju izvodi komponenata, oni se redovito buše svrdlom najmanjeg promjera (najčešće 0,5mm) kojeg dopušta tehnološki proces izrade (na njihove bočne stijenke potrebno je nanijeti vodljivi sloj). Preporučljiva vrijednost vanjskog promjera takvih lemnih točaka je 50mila (≈1,3mm).

- Povezivanje izvoda komponenata prema opisu veza započeti s vodovima napajanja, i to s vodom referentnog potencijala.
- Spojiti signalne veze s posebnim električkim zahtjevima (vrlo visoke frekvencije odnosno vrlo kratka vremena porasta i pada pripadajućih signala, osjetljivost na elektromagnetske smetnje).
- Povući preostale signalne vodove počevši od najkraćih.
- Kratkospojnike koristiti na jednostranim pločicama ako bez njih ostvarenje svih zadanih veza nije moguće, a nema opravdanja za povećanje broja slojeva. Svi kratkospojnici trebaju biti iste duljine.

Preporuke pri povezivanju komponenata

- Vodove udaljiti barem 1mm od rubova pločice.
- Kose vodove crtati pod kutem 45° (135°).
- Izbjegavati šiljaste unutarnje kuteve pri promjeni smjera vodova (savijanju) te pri njihovom međusobnom spajanju (križanju).
- Izbjegavati velike vodljive površine oko lemnih mjesta s ciljem ograničavanja nepotrebnog i nepravilnog odvođenja topline tijekom lemljenja.
- Na jednostranim tiskanim vezama usporedno voditi vodove mase i napajanja, a na dvostranima jedno iznad drugoga (masa s lemne, a preostali vodovi napajanja s komponentne strane). Na višeslojnim vezama povoljno je jedan od slojeva koristiti isključivo kao vod mase te još jedan sloj samo za ostale vodove napajanja. Za primjerice četveroslojne veze preporučljivo je glavninu signalnih vodova smjestiti na četvrti (lemna strana), vod mase na treći, preostale vodove napajanja na drugi, a ostatak signalnih vodova na prvi (komponentna strana) sloj. Izvedba vodova napajanja, osobito mase, u zasebnim slojevima optimalna je za sveukupne električke značajke sklopovlja, no nije moguća na jednostranim i dvostranim vezama. U tom je slučaju osobito važan način razvođenja (topologija) vodova napajanja. Povoljno je razvođenje po vanjskim rubovima pločice s mjestimičnim grupnim (i masa i ostali potrebni vodovi napajanja) grananjem prema unutrašnjosti njene površine, tako da svi vodovi napajanja tvore strukture u obliku češlja. Posebnu pozornost potrebno je posvetiti vodovima između izvoda napajanja integriranih krugova i pridruženih im blokadnih kondenzatora.
- Signalne veze, posebice one s posebnim električkim zahtjevima, ostvarivati što kraćim i ravnijim vodovima uz što veće međusobne razmake.
- Glavninu vodova nastojati povući na lemnoj strani, a na komponentnoj strani izbjegavati vodove ispod integriranih krugova te između njihovih izvoda.
- Izbjegavati lokalna gomilanja vodova.

2.2.3. Provjeravanje rezultata projektiranja

Po završetku smještanja i povezivanja komponenata provjerava se sukladnost sveukupnih značajki tiskane pločice i ulaznih zahtjeva procesa projektiranja. Računalnim programom provjerava se (*Design Rule Check - DRC*) jesu li tiskanim vodovima u potpunosti i ispravno ostvarene sve električke veze iz opisa veza izvedenog iz električke sheme sklopovlja, te je li ispunjen uvjet najmanjeg dopuštenog razmaka između elemenata električki odvojenih vodljivih likova. Provjera zadovoljenosti ostalih pravila i zahtjeva izvodi se uglavnom ručno. Ukoliko je provjera prolazna, pohranjuju se izlazni računalni podaci te izrađuje projektna dokumentacija. U protivnom je potrebno izmijeniti ili dopuniti nacrte tiskanih veza.

2.3. Izlazni podaci i projektna dokumentacija

Izlazne računalne podatke procesa projektiranja tiskanih pločica (slike 1.10. i 1.14.), ujedno i ulazne podatke tehnološkog procesa njihove izrade, tvore

- električka shema sklopovlja,
- opis veza,
- položajni nacrt komponenata i
- nacrti tiskanih veza svih vodljivih slojeva pločice,

koji su opisani u prethodnim poglavljima, te

- nacrt lemne maske (*solder mask*) i
- opis rupa (*NC drill*).

Nacrt lemne maske (maske za nanošenje zaustavnog laka) zapravo je negativ nacrta lemnih točaka (Slika 1.4.) uvećanih promjera za nekoliko desetinki milimetra (0,1 do 0,3mm). Izbor razmaka od vanjskog ruba lemne točke do zaustavnog laka funkcija je preciznosti tehnološkog postupka nanošenja laka te najmanjih udaljenosti vanjskih rubova lemnih točaka od najbližih električki odvojenih vodljivih likova. U slučaju premalog razmaka, a zbog položajnih tolerancija postupka nanošenja, zaustavni lak bi otežavao lemljenje. U slučaju pak prevelikog razmaka vodljivi bi likovi u neposrednoj blizini lemnih točaka mogli biti djelomično neprekriveni lakom, te

prilikom lemljenja s njima kratkospojeni lemnom slitinom. Nacrt lemne maske isti je i za lemnu i za komponentnu stranu, samo se u postupku nanošenja laka na lemnu stranu film okreće zrcalno.

Opis rupa sadrži podatke o koordinatama i promjerima svih rupa na pločici, u obliku prikladnom za računalom upravljane bušilice.

Projektna dokumentacija je dio izlaznih računalnih podataka procesa projektiranja u pisanom obliku, a sadrži

- električku shemu sklopovlja,
- položajni nacrt komponenata,
- nacrte tiskanih veza svih vodljivih slojeva pločice i
- plan bušenja (*drill drawing*).

Ukoliko je projektirana pločica namijenjena izradi laboratorijskim postupkom, kojem je nacrt tiskanih veza otisnut na prozirnom papiru ujedno i maska za fotopostupak i u kojem se podrazumijeva ručno bušenje rupa, lemne točke trebaju imati proziran unutarnji krug koji pri bušenju rupa služi kao vodilica za svrdlo. Za strojno bušenje rupa unutarnji krug lemne točke mora biti zacrnjen jer u protivnom može prouzročiti savijanje i pucanje svrdla tijekom bušenja.

Plan bušenja je zapravo opis rupa prilagođen ručnom bušenju, a koristan je i pri ručnom provjeravanju ispravnosti njihovih predviđenih promjera. Na svim koordinatama rupa sadrži oznaku (simbol) svrdla s kojim tu rupu treba probušiti, te legendu oznaka (primjerice: +: ϕ0,8; ∗: ϕ1,0; ∘: ϕ3,1; ili: **A**: ϕ0,8; **B**: ϕ1,0; **C**: ϕ1,3; **D**: ϕ3,1). Vrijednosti promjera svrdala iskazuju se u milimetrima, a oznake im je potrebno izabrati tako da su im međusobne razlike što lakše raspoznatljive. Ukoliko su oznake koje koristi primjenjeni računalni program neprikladne, a program ne dopušta njihove izmjene, potrebno ih je na papiru ručno preinačiti (primjerice obilježavanjem različitim bojama). Uz nacrt gledan s komponentne strane (prikladan za provjeravanje), plan bušenja se obično izrađuje i u nacrtu gledanom s lemne strane (prikladan za bušenje).

3. TEHNIČKA DOKUMENTACIJA

Tijekom svih postupaka procesa projektiranja elektroničkog uređaja, od početnih razvojno-istraživačkih do završnih ispitivanja i pripreme proizvodnje, usporedno se izrađuju i odgovarajući dijelovi tehničke dokumentacije. Značaj dokumentiranja postaje sve veći razvojem elektroničke tehnologije i povećanjem složenosti primjenjivanog sklopovlja i programske podrške. Primjerice općeprihvaćene norme ISO 9000 znatnim dijelom upravo propisuju pravila dokumentiranja. Tehnička dokumentacija elektroničkih uređaja temelj je proizvodnje, daljnjeg razvoja, prodaje, primjene i održavanja uređaja. Stoga mora biti sveobuhvatna, točna, dosljedna i pregledna. Prema namjeni dijeli se na

- proizvodnu,
- korisničku (prodajnu) i
- servisnu.

Svaki njen dio mora sadržavati naziv i zaštitni znak proizvođača te vrstu i naziv uređaja. Pojedini su dijelovi opisani u prethodnom poglavlju, pa u nastavku slijede pojašnjenja samo preostalih.

3.1. Proizvodna dokumentacija

Proizvodna dokumentacija elektroničkog uređaja omogućuje njegovu proizvodnju i daljnji razvoj. Budući da ju koristi isključivo proizvođač, za način njene izrade ne postoje opća pravila ili zakonske obveze. Međutim sadržaj joj je uglavnom predodređen namjenom i zahtjevom za potpunošću. Za cjelokupni uređaj preporuča se izrada

- električke sheme,
- sastavnice,
- ugradbenog nacrta i priključne tablice te
- uputstva za ispitivanje i umjeravanje,

te dodatno za svaku tiskanu pločicu koja se ugrađuje u uređaj

- električke sheme,
- sastavnice,
- položajnog nacrta komponenata,
- nacrta tiskanih veza svih vodljivih slojeva,
- plana bušenja i
- uputstva za ispitivanje i umjeravanje.

3.1.1. Sastavnica

Sastavnica je tablični opis svih elektroničkih, elektromehaničkih, elektrotermičkih i mehaničkih komponenata određenog dijela uređaja, na temelju kojeg se komponente nabavljaju. Dodatno se koristi i tijekom ugradnje, ukoliko se ugradnja izvodi ručno. U njoj se najčešće navode

- redni broj grupe istonazivnih komponenata,
- oznake svih komponenata u grupi,
- opis komponente i
- potrebna količina.

Preporuča se dodati i

- naziv proizvođača,
- naziv dobavljača,
- naziv kataloga dobavljača,
- redni broj stranice kataloga i
- kataloški broj.

Preporuke pri ispunjavanju sastavnice

- Prvo navoditi elektroničke komponente, potom elektromehaničke, elektrotermičke i mehaničke.
- Elektroničke komponente upisivati od složenijih (integrirani krugovi i diskretne poluvodičke komponente) prema jednostavnijima (pasivne komponente).
- Istovrsne komponente (ista slovna oznaka) navoditi za redom. Poredati ih ili po brojevima u oznakama ili po vrijednostima svojstvenih električkih veličina.
- Elektromehaničke komponente (podnožja, kućišta osigurača) koje se koriste za ugradnju elektroničkih komponenata označiti istom slovno-brojevnom oznakom kao pripadajuću elektroničku komponentu.
- U opisima integriranih krugova i diskretnih poluvodičkih komponenata navoditi
  - vrstu (četverostruki dvoulazni NI sklop, PNP tranzistor),
  - naziv (74HCT00, BC556B) i
  - kućište (DIP-14, TO-92).
- U opisima pasivnih komponenata navoditi
  - vrstu (kovinoslojni otpornik, elektrolitski kondenzator),
  - nazivnu vrijednost svojstvene (otpor, kapacitet, induktivitet) električne veličine (10kΩ, 47μF),
  - nazivnu vrijednost utjecajnih (snaga, napon, struja) električnih veličina (0,25W, 16V) i
  - druge podatke (tolerancije nazivnih veličina, temperaturni koeficijenti) ukoliko su različiti od uobičajenih koji se podrazumijevaju (0,1%, 10ppm/°C).

3.1.2. Ugradbeni nacrt uređaja i priključna tablica

Ugradbeni nacrt uređaja opisuje položaj tiskanih pločica i drugih sastavnih dijelova uređaja u kućištu. Najčešće obuhvaća tehnički crtež otvorenog kućišta uređaja u perspektivi, te nacrte prednje i stražnje ploče. Priključna tablica sadrži popis električkih veza između pojedinih dijelova uređaja koje se ostvaruju ožičenjem.

3.1.3. Uputstvo za ispitivanje i umjeravanje

Uputstvo za ispitivanje i umjeravanje propisuje svojstva ispitnih signala i način njihova priključivanja, svojstva odzivnih signala na ispitnim točkama, te način i redoslijed umjeravanja.

3.2. Korisnička dokumentacija

Korisnička dokumentacija se zajedno s uređajem isporučuje korisniku. Opisuje uređaj i način njegove primjene, a prilagođeno korisnicima bez stručnog znanja i iskustva. Dijelovi korisničke dokumentacije (osobito tehnički podaci) smatraju se ugovornom obvezom proizvođača potvrđenom jamstvenim listom. Uputstvo za uporabu (posebice opis sigurnosnih mjera) pravno štite proizvođača u slučaju nepravilne primjene uređaja. Korisnička dokumentacija treba sadržavati

- opis uređaja,
- uputstvo za uporabu i
- jamstveni list.

3.2.1. Opis uređaja

Opis uređaja omogućuje korisniku okvirni uvid u namjenu i način rada uređaja, te sveobuhvatni pregled njegovih tehničkih značajki. Redovito se navodi

- područje primjene i namjena uređaja,

- opis dodatnih dijelova uređaja (za primjerice prijenosni multimetar to su priključne stezaljke i baterija),
- blok shema, te
- zajamčeni i informativni tehnički podaci.

Tehnički podaci

Zajamčeni tehnički podaci su brojevno iskazane i obvezujuće temeljne električke, mehaničke i toplinske značajke uređaja. Za primjerice digitalni voltmetar bitne električke značajke su mjerni opseg, granična mjerna pogreška (točnost), razlučivanje, učestalost mjerenja, mjerena svojstvena (srednja, vršna, efektivna) vrijednost izmjeničnih napona, ulazna impedancija. U okviru električkih značajki obvezno se opisuje izvor napajanja (baterija, akumulator, elektroenergetska mreža), i to navođenjem nazivne vrijednosti i dopuštenih odstupanja napona (i frekvencije u slučaju mrežnog napajanja), potrošnje struje (snage) i nazivnih značajki osigurača. Svi signalni ulazi i izlazi dostupni korisniku (priključci izvedeni na kućište) moraju biti potpuno električki opisani. Od toplinskih i mehaničkih svojstava potrebno je navesti temperaturno područje rada, stupanj zaštite kućišta od prodora čestica krutih tvari i tekućine, te i druge značajke ovisne o namjeni uređaja (primjerice otpornost na potresanje i ubrzavanje za prijenosne uređaje).

Informativni tehnički podaci opisuju posebne značajke (dimenzije, masa, izgled, ergonomičnost) uređaja nebitne za njegov rad, ali često vrlo važne pri izboru uređaja.

3.2.2. Uputstvo za uporabu

Uputstvo za uporabu mora sadržavati sve bitne podatke potrebne za ispravnu i potpunu primjenu uređaja. Najčešće sadrži

- pripremu uređaja,
- uputstvo za rukovanje,
- uputstvo za održavanje i
- uputstvo za umjeravanje.

Priprema uređaja

Jednostavnijim uređajima priprema za rad zahtijeva samo priključivanje napona napajanja. Ukoliko je napajanje akumulatorsko, propisuje se način njegove provjere i punjenja. Složenijim (posebice industrijskim) uređajima opisuje se način povezivanja (priključna shema) vanjskih priključaka. Vrhunskim elektroničkim mjernim uređajima redovito je potrebno osigurati određeno vrijeme zagrijavanja, nakon kojeg su ostvarive deklarirane mjeriteljske značajke. U sklopu priprema za rad često se navode i preporuke za zaštitu od elektromagnetskih smetnji.

Uputstvo za rukovanje

Uputstvo za rukovanje opisuje postupke primjene uređaja za ostvarenje njegove namjene, uključujući sigurnosne mjere. Sigurnosne mjere štite korisnika tjelesno, a proizvođača pravno. Propisuju primjerice potrebu priključivanja uređaja na mrežnu utičnicu s uzemljenjem (šuko), način uzemljivanja električki vodljivih dostupnih dijelova kućišta, primjenu posebnih zaštitnih sklopki i osigurača, izbjegavanje dodira s tekućinom, a sve s ciljem zaštite korisnika od strujnog udara. Opis postupaka rukovanja sadrži nacrt ili sliku prostornog rasporeda (uključujući oznake) korisničkih ulaznih i izlaznih naprava najčešće na prednjoj ploči uređaja, zajedno s objašnjenjima potrebnih zahvata i njihovog redoslijeda za ostvarivanje pojedinih mogućnosti uređaja. Ulazne korisničke naprave su primjerice tipkovnice, preklopke i potenciometri, a izlazne pokaznici (pokaznici s tekućim kristalima, pokaznici sa svjetlećim diodama, fluorescentni pokaznici, pokaznici s katodnom cijevi) i komponente za svjetlosnu (svjetleće diode, žarulje, tinjalice) i zvučnu (zvučnici, zujala) signalizaciju.

Uputstvo za održavanje

Uputstvo za održavanje opisuje jednostavnije zahvate poput čišćenja ili zamjene baterija i osigurača, te postupke pravilnog pohranjivanja uređaja. Za omogućavanje pristupa dijelovima uređaja koji se povremeno zamjenjuju, uputstvu se prilaže i opis (nacrt) mehaničke konstrukcije kućišta.

Uputstvo za umjeravanje

Uputstvo za umjeravanje rijetko je sastavni dio korisničke dokumentacije (češće je u sklopu servisne), a izrađuje se uglavnom za mjerne uređaje koji podliježu zakonski obveznom umjeravanju u ovlaštenim laboratorijima nacionalnih normizacijskih ustanova.

3.2.3. Jamstveni list

Zakonski je obvezno jamstvo trajanja najmanje jednu godinu, a održavanje mora biti osigurano barem sedam godina od dana prodaje uređaja. U njemu se navode uvjeti pod kojima jamstvo vrijedi, a isključuju se kvarovi nastali nepravilnim rukovanjem uređajem.

3.3. Servisna dokumentacija

Servisna dokumentacija koristi se pri održavanju uređaja, otklanjanju kvarova, dogradnji i drugim uslugama koje proizvođač mora osigurati korisniku. Za način njene izrade, kao i za proizvodnu, ne postoje opća pravila ili zakonske obveze. Sadržaj joj pak proizlazi iz namjene, a uključuje najčešće cjelokupnu korisničku i dijelove proizvodne dokumentacije, te dodatke poput popisa kvarova i preporučenih postupaka za njihovo otklanjanje.

5. NAPUTAK ZA IZRADU PROGRAMA

Zadatak

Na temelju načelne električke sheme sklopovlja projektirati tiskanu pločicu i izraditi tehničku dokumentaciju koristeći skripta "Projektiranje tiskanih veza". Cjelokupni program tvore

1. Područje primjene i namjena sklopovlja,
2. Blok shema,
3. Električka shema,
4. Opis rada,
5. Tehnički podaci,
6. Uputstvo za uporabu,
7. Sastavnica,
8. Položajni nacrt komponenata,
9. Nacrt(i) tiskanih veza i
10. Plan bušenja.

Preporučeni postupak izrade programa

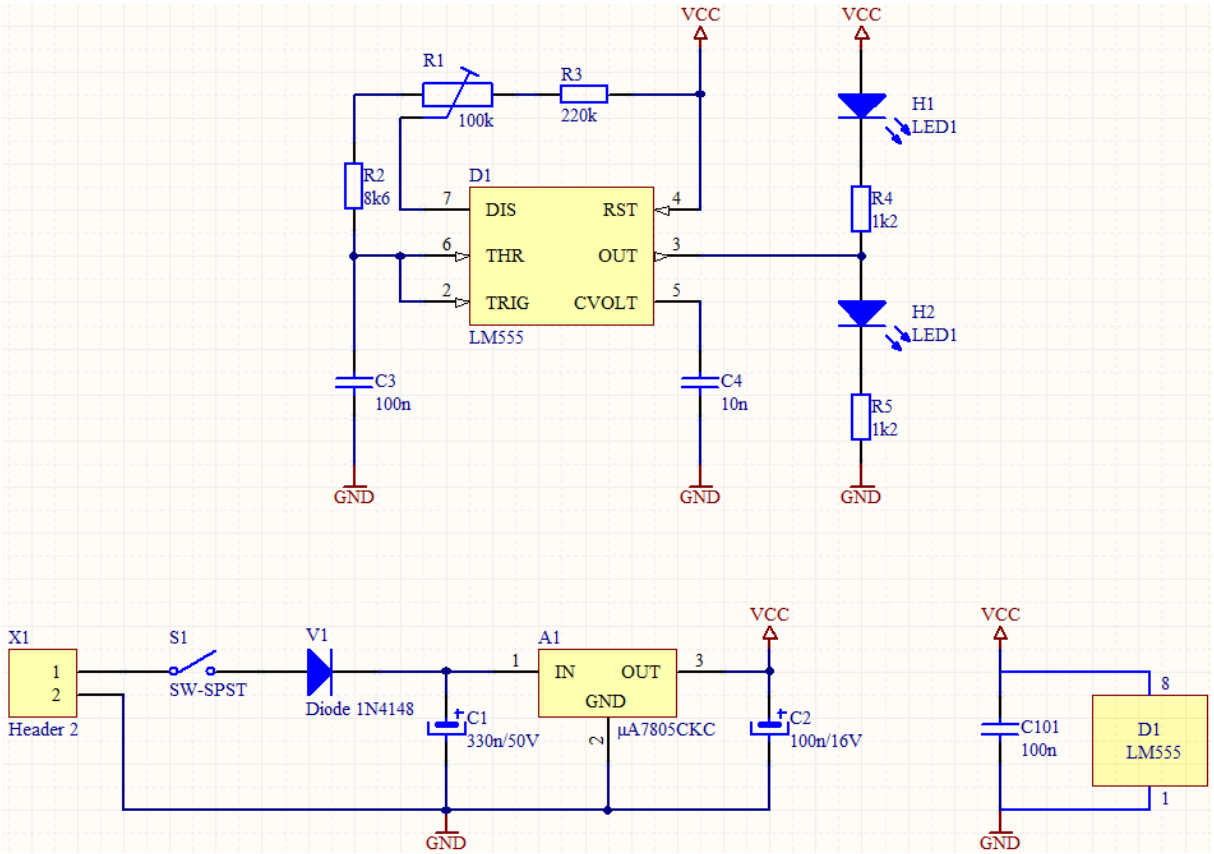
Proučiti i razmotriti rad sklopovlja zadanog načelnom, izvedbeno nepotpunom električkom shemom. Utvrditi područje primjene i namjenu (1.), te ih ukratko opisati. Odrediti funkcijske cjeline i nacrtati blok shemu (2.), a potom i električku (3.) dopunjenu potrebnim elektroničkim (blokadni kondenzatori: višeslojni keramički kapaciteta 100nF za svaki integrirani krug, tantal elektrolitski kapaciteta 10μF na svakih pet integriranih krugova s istim napajanjem, te elektrolitski kapaciteta 100μF neposredno uz konektor na koji se priključuje napajanje), elektrotermičkim (hladila poluvodičkih komponenata) i elektromehaničkim (konektori, podnožja, ispitne točke) komponentama, te preinačenu sukladno preporukama. Jezgrovito opisati rad (4.) sklopovlja pozivanjem na dijelove označene u prethodno izrađenim shemama. Slijedi pregled zajamčenih tehničkih podataka (5.) i uputstvo za uporabu (6.) Nakon izrade sastavnice (7.) projektira se tiskana pločica. Sklopovlje je **obvezno** smjestiti na **jednu** pločicu što manjih dimenzija, s **jednostranim** vezama (iznimno i dvostranima). Položajni nacrt komponenata (8.), nacrt(i) tiskanih veza (9.) i plan bušenja (10.) crtaju se pomoću računala i otiskuju pisačem (mjerilo 1:1). Dijelovi programa od 1. do 7. izrađuju se na zasebnim papirima pregledno i čitko, s odgovarajućim naslovima i brojevima stranica prema zadanom redoslijedu. Naslovna stranica treba sadržavati: ime studenta i matični broj, naziv smjera, predmeta i programa, te datum predaje programa.

Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija
Predmet: Računalom podržano projektiranje elektroničkih uređaja

UPUTE ZA 1. LABORATORIJSKU VJEŽBU

Zadatak: U okviru 1. laboratorijske vježbe potrebno je napraviti sljedeće:

- precrtati električnu shemu zadanu slikom 1, u skladu s detaljnim smjernicama izloženim u nastavku ovih uputa,
- kreirati korisničku biblioteku komponenata *Lab1.SchLib* u koju će se dodavati nove komponente i uključiti je u projekt. U njoj definirati vlastite komponente koje nedostaju u izvornim bibliotekama (npr. D1, R1, C1 i C2 na slici 1),
- za svaku komponentu ispuniti informacije neophodne za realizaciju tiskane pločice i nabavku komponenata (*footprint*, dobavljač, kataloški broj, cijena, prema tablici 3),
- provesti provjeru ispravnosti električkog projektiranja (ERC, *electrical rule check*), ručno kreirati spojnu listu (*netlist*) i proučiti njen sadržaj.



Slika 1: Električna shema

Kreiranje projekta

1. Kreirati korisničku radnu mapu u kojoj će biti pohranjeni PCB projekti: *D:\Users\<ime_prezime>*

2. Otvoriti novi PCB projekt (*File » New » Project » PCB Project*) i pohraniti ga u kreiranu korisničku mapu (*File » Save Project As...*) (pod nazivom *Lab1.PrjPcb*).

3. Dodati novu električnu shemu (*File » New » Schematic* ili desni klik na projekt u *Project Manager* panelu + *Add New to Project* + *Schematic*) i pohraniti je na disk pod nazivom *Labos1_2012.SchDoc*.

Podešavanje biblioteka

4. Na *Libraries* popisu uključiti sljedeće biblioteke u *Installed* popis (nalazi se pod *Libraries* panel *» Libraries » Installed*, a sadrži biblioteke komponenata koje su dostupne u svim otvorenim projektima:

   Miscellaneous Devices.IntLib (*\Library*)
   Miscellaneous Connectors.IntLib (*\Library*)
   TI Power Mgt Voltage Regulator.IntLib (*\Library\Texas Instruments\TI Power Mgt Voltage Regulator.IntLib*)

   Napomena: Ako *Libraries* panel nije vidljiv u traci uz desni rub monitora, uključiti ga pritiskom na *System » Libraries* (u statusnoj traci, u donjem desnom dijelu glavnog prozora).

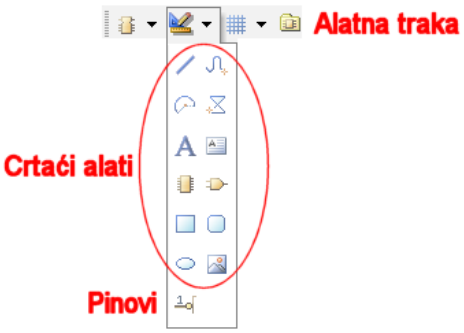
   Komponente koje se ne nalaze u dostupnim bibliotekama (tj. onima koje dolaze s instalacijom programskog paketa *Altium Designer*) potrebno je definirati u posebnoj, korisnički kreiranoj *SchLib* biblioteci.

Postupak dodavanja nove *SchLib* biblioteke u PCB projekt je sljedeći:
- desni klik na projekt u *Project Manager* panelu + *Add New to Project* + *Schematic Library* (u stablu projektne strukture pojavljuje se nova *SchLib* biblioteka),
- pohraniti novokreiranu biblioteku na disk (u datoteku *Lab1.SchLib*),
- u novoj biblioteci inicijalno postoji jedna komponenta *Component_1*. Naziv komponente promijeniti putem opcije *Tools » Rename component*,
- svaka druga nova komponenta dodaje se u biblioteku pozivom opcije *Tools » New Component*,

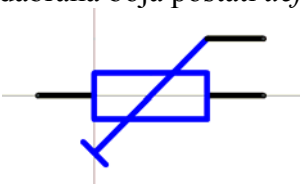
Korisnički definirana i sačuvana biblioteka *Lab1.SchLib* trebala bi se nalaziti na *Project* popisu (*Libraries* panel *» Libraries » Project*) koji sadrži biblioteke vezane isključivo uz trenutno aktivni projekt.

Definiranje vlastitih komponenata u novoj biblioteci za električnu shemu

Postupak crtanja nove komponente u biblioteci:
- komponenta se crta korištenjem "crtaćih" alata (linija, pravokutnika, lukova i sl.) i pinova (najdonja ikona iz izbornika alata):



- **napomena**: sve komponente u *SchLib* editoru potrebno je crtati oko ishodišta koordinatnog sustava smještenog u sredini radnog područja,
- pinove komponente moguće je brzo postavljati korištenjem kratice *P* + *P* (Place + Pin),
- **napomena**: za vrijeme postavljanja pinova komponente, pritiskom na tipku *Tab*[1] mogu se dinamički uređivati *default* svojstva pinova za postavljanje, bez potrebe za stalnim ručnim otvaranjem dijaloga svojstava dvostrukim klikom na pin,
- posebno je korisno primijetiti *autoincrement* mogućnost, koja se odnosi na automatsko uvećanje numeričke vrijednost *Display Name*[2] i *Designator*[3] polja pina; trenutne vrijednosti *Display Name* i *Designator* polja mogu se promijeniti u svakom trenutku pritiskom na tipku *Tab.*
- pozivom opcije *View » Show Hidden Pins* mogu se prikazati ili sakriti *hidden* pinovi ili svojstva pinova kojima je uključeno svojstvo *hidden*.
- električni neaktivni dijelovi komponente (prikazani plavom bojom) služe za definiranje grafičkog izgleda simbola i u pravilu se crtaju korištenjem linija i poligona. Ako linija ili poligon nisu prikazani plavom bojom (npr. crna boja je uključena po *defaultu*), potrebno je za vrijeme crtanja pritisnuti tipku *Tab* i zadati plavu boju (*color code: 229*); nakon toga će odabrana boja postati *default* za sve nove objekte tog tipa,



- kod crtanja grafičke reprezentacije simbola, najčešće je podrazumijevani *snap grid* (iznosa 10) pregrub i stvara probleme za crtanje finih detalja u prikazu električnog simbola Pritiskom na tipku *G* moguće je jednostavno ciklički mijenjati *snap grid* u rasponu 1-5-10. Radi lakšeg povezivanja komponenata na shemi poželjno je električki aktivne dijelove pina (kraj s četiri bijele točkice) postaviti na točke kojima su i *x* i *y* koordinate djeljive s 10, tj. korištenjem snap grida 10. Grafički prikaz simbola komponente (sve što nisu pinovi) se može crtati na bilo kojem gridu.

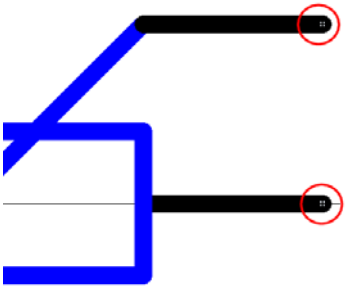
Napomena: Vrlo je bitno uočiti da pinovi nisu simetrični objekti, odnosno da se električki aktivni dio (s kojim se može povezati putem *wire* objekta) nalazi na onom kraju pina gdje se vide četiri bijele točkice:

---

[1] Pritiskom na tipku *Tab* za vrijeme postavljanja bilo koje komponente ili njenog dijela na shemu ulazi se u *Properties* izbornik te komponente, odnosno dijela komponente. Ovo svojstvo se može koristiti u svim vrstama datoteka (*Sch*, *SchLib*, *Pcb*, *PcbLib*).

[2] *Display Name* polje služi za upisivanje niza znakova (stringova) koji korisniku olakšava razumijevanje funkcije pojedinog priključka. U to polje se obično upisuju oznake iz *datasheeta* komponente. Ovo polje se NE prenosi na tiskanu pločicu.

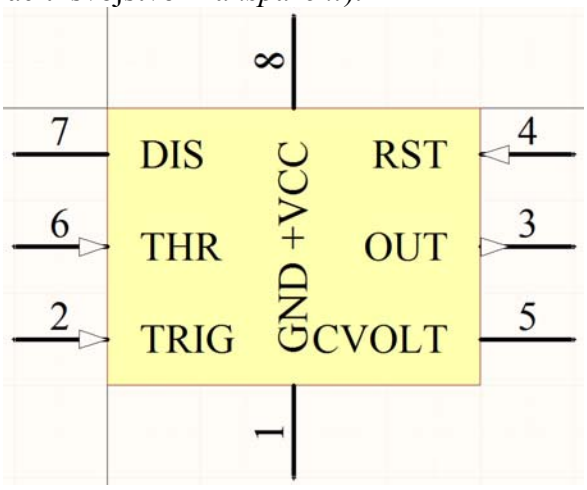
[3] *Designatori* pinova komponenti se numeriraju redom od 1 na više (dakle, ne od 0 ili nekog drugog broja), jer se *Designator* komponente sa sheme povezuje s istim *Designatorom* na *footprintu* komponente.



Ako se pin zarotira za 180°, povezivanje komponente na električnoj shemi neće biti ispravno provedeno!

5. Crtanje korisnički definirane komponente LM555 (oscilator) u vlastitoj datoteci *Lab1.SchLib*.

- za njeno crtanje potrebno je koristiti naredbe *Place rectangle* i *Place pin* iz trake "crtaćih" alata (detaljne upute za crtanje komponenata mogu se naći pod točkama 30 i 31 ovih uputa),
- simbol komponente za električnu shemu koji je potrebno nacrtati prikazan je sljedećom slikom (da bi se vidjeli nazivi pinova potrebno je pozvati naredbu *Edit » Move » Send To Back* i kliknuti na žuti pravokutnik, ili u *Propertiesima* žutog pravokutnika označiti svojstvo *Transparent*):

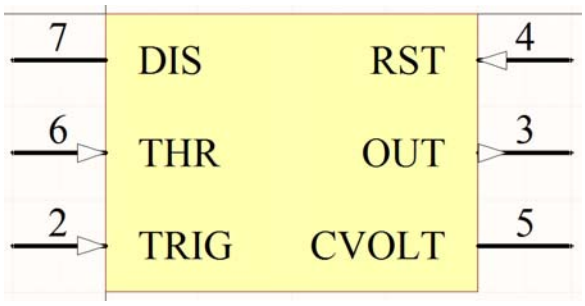


Uređivanje svojstava pinova komponente LM555:

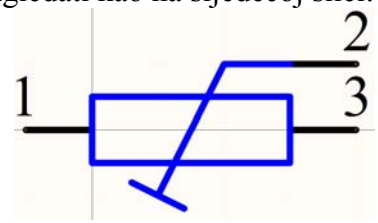
- polja *Designator* je potrebno ispuniti tako da imaju **jedinstvenu numeraciju** (važno za ispravno generiranje spojne liste[4]!), prema prethodnoj slici,
- u *Name* polje upisati oznake sa slike (GND, TRIG, OUT, ...),
- poželjno je skratiti izvode integriranih sklopova (parametar *Length*) na duljinu 20, radi manjeg zauzeća površine simbola na električnoj shemi,
- postaviti ispravni električni tip pina (*Electrical Type*). U ovom slučaju pinovi 2, 4 i 6 su tipa *Input*, pin 3 je *Output*, pinovi 5 i 7 su tipa *Passive*, a pinovi 1 i 8 tipa *Power*.
- uključiti svojstvo *hidden* za pinove tipa *Power*. Da bi se *hidden* pinovi ispravno povezali na odgovarajuću mrežu u spojnoj listi, potrebno je u polje *Connect To* upisati ime mreže na koju se trebaju spojiti (u ovoj shemi to su VCC i GND).

U *Tools » Component Properties* postaviti *Default Designator* u "D?". Spremiti komponentu pod nazivom LM555 (*Tools » Rename component*). Gotova komponenta LM555 bi trebala izgledati kao na sljedećoj slici:

[4] Generiranje spojne liste objašnjeno je u točki 29 ovih uputa.



6. Crtanje korisnički definirane komponente "Trimmer".
- nacrtati tri pina tipa *Passive* duljine 10,
- nacrtati simbol otpornika plavom bojom (*color code: 229*),
- komponenta bi trebala izgledati kao na sljedećoj slici:



- isključiti vidljivost polja *Name* i Designator,
- postaviti *Default Designator* u "R?",
- spremiti komponentu u biblioteku pod nazivom "Trimmer".

<u>Postavljanje komponenata na električnu shemu</u>

7. U *Document Options* izborniku sheme (kratica: D, O) prije dodavanja prve komponente na shemu postaviti sljedeće postavke mreže (grida): *Snap Grid* 5, *Visible Grid* 10, *Electrical Grid Range* 3.

8. Prilikom crtanja električne sheme odabrati sljedeće komponente:

Tablica 1: Opis komponenata na električnoj shemi

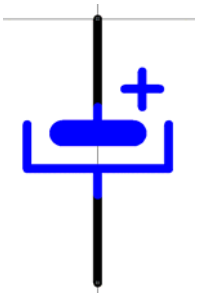
Oznaka	Biblioteka	Komponenta
A1	TI Power Mgt Voltage Regulator.IntLib	µA78L05CKC
D1	Lab1.SchLib	LM555
H1, H2	Miscellaneous Devices.IntLib	LED1
V1	Miscellaneous Devices.IntLib	Diode 1N4148
R1	Lab1.SchLib	Trimmer
R2 – R5	Miscellaneous Devices.IntLib	RES2
C1, C2	Miscellaneous Devices.IntLib	CAP POL2[5]
C3, C4, C101	Miscellaneous Devices.IntLib	CAP
X1	Miscellaneous Connectors.IntLib	Header 2
S1	Miscellaneous Devices.IntLib	SW-SPST

Napomena: Komponente se prilikom postavljanja na električnu shemu mogu rotirati pritiskom na *Space,* a zrcaliti pritiskom na *x* i *y* tipke. *Ctrl + Mouse wheel* omogućava brzo

[5] Iako se razlikuje od IEC preporuka, ovu oznaku koristimo na laboratorijskim vježbama zbog ograničenog trajanja vježbi. Prilikom izrada projekata i domaćih zadaća potrebno je nacrtati vlastitu komponentu prema tablici IEC simbola u skripti!

zoomiranje, a *Shift + Mouse wheel* omogućava pomicanje sheme lijevo-desno. Pritiskom na tipku *z* pojavljuje se *Zoom pop-up* izbornik (drugim pritiskom na početno slovo opcije iz izbornika pokreće se odabrana opcije, npr. *z + a = Zoom + All* – odabir mjerila prikaza koje obuhvaća sve objekte na električnoj shemi).

9. Crtanje korisnički definirane komponente "Elko" (simbol elektrolitskog kondenzatora prema IEC preporukama).
- nacrtati dva pina tipa *Passive* duljine 10, i to pin s *Designatorom* 1 gore, tj. uz oznaku „+“,
- nacrtati simbol kondenzatora plavim linijama (*color code: 229*),
- komponenta bi trebala izgledati kao na slici desno,
- isključiti vidljivost polja *Name* i Designator,
- postaviti *Default Designator* u “C?“,
- spremiti komponentu u biblioteku pod nazivom "Elko".



<u>Povezivanje komponenata</u>

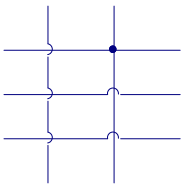
10. Za povezivanje komponenata koristiti *Wire* alat:

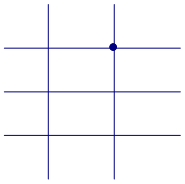
11. Postaviti *Power portove* (mreže napajanja) VCC i GND:

12. Provjeriti da li će se skriveni priključci napajanja integriranog sklopa D1 ispravno povezati s mrežom napajanja VCC i GND kod kompajliranja projekta:
a. Dvostruki klik na D1, uključiti opciju *Show All Pins on Sheet (Even if Hidden)*, isključiti opciju *Lock Pins*,
b. Provjeriti da li su pinovi napajanja povezani na mreže *VCC* i *GND*,
c. Nakon provjere sakriti pinove napajanja (isključiti *Show All Pins on Sheet*, uključiti *Lock Pins*).

13. Rasporediti komponente i povezati ih u skladu s predloškom električne sheme na slici 1.

14. Obratiti pažnju na sljedeće detalje:
a. Za *Power portove* VCC i GND koristiti različite simbole (vidi sliku 1).
b. Prilikom povezivanja korištenjem *Wire* objekata paziti na križanja i povezivanje žica:





Mjesta gdje se dvije žice spajaju moraju biti označena *Junction* simbolom (malim ispunjenim kružićem), dok na mjestima gdje jedna žica prelazi preko druge tog simbola ne smije biti (dva načina ispravnog prikaza takvih mjesta mogu se vidjeti na gornjim slikama, a vrsta prikaza određuje se putem opcije *DXP » Preferences » Schematic » General » Display Cross-Overs*).

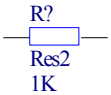
Preporuča se isključiti opciju *Optimize Wires & Buses* (*DXP » Preferences » Schematic » General » Optimize Wires & Buses*) da se izbjegne „pametno“ ožičavanje koje stvara probleme prilikom povezivanja.

c. Odabir ispravnog *Part numbera* kod multi-part komponenti (vidi točku 30) može se mijenjati ili u dijalogu svojstava komponente ili korištenjem opcije *Edit » Increment Part Number*.

Označavanje komponenata

15. Oznake komponenata na električnoj shemi definiraju se u polju *Designator*, a nazivna vrijednost ili oznaka integriranog sklopa u *Comment* (u dijalogu svojstava komponente, koji se dobije dvostrukim klikom na komponentu).

Napomena: Prilikom postavljanja pasivnih komponenata na električnu shemu bit će vidljiva **tri** polja: *Designator, Comment* i parametar *Value*, npr za otpornik:



R? (podrazumijevani *Designator*), Res2 (*Comment*), 1K (parametar *Value*)

Comment predstavlja informaciju o vrijednosti komponente koja se prilikom transfera dizajna prenosi preko spojne liste sa sheme na tiskanu pločicu, dok parametar *Value* predstavlja vrijednost komponente koja se koristi prilikom SPICE simulacije električnih mreža (ta se informacija **ne prenosi** u modul za projektiranje tiskanih veza!).
Za električnu shemu i za modul za projektiranje tiskanih pločica mjerodavno je **samo** polje *Comment* (u koje se upisuje vrijednost komponente), dok je parametar *Value* na shemi potrebno sakriti (isključiti *Visible* za parametar *Value* u dijalogu svojstava komponente).

Napomena (nije potrebno raditi kod izvođenja 1. laboratorijske vježbe!):

Ako se želi izbjeći vođenje dvostruke dokumentacije o vrijednostima pasivnih komponenata, a shemu projektirati tako da bude spremna za SPICE simulaciju, potrebno je napraviti sljedeće:
- sakriti parametar *Value* (isključiti *Visible* za parametar *Value* u dijalogu svojstava komponente),
- u *Value* polje upisati vrijednost komponente (npr. 1k, 5k6, 3M3 i sl.),
- u *Comment* polje upisati “=*Value*“ (direktiva da se vrijednost parametra *Value* automatski kopira u polje *Comment*),
- uključiti opciju *DXP » Preferences » Schematic » Graphical Editing » Convert Special Strings* (inače se na shemi neće prikazati npr. “1k“, već “=*Value*“)

Međutim, takav način crtanja električne sheme se ne preporuča, jer se u SPICE-u obično simulira ponašanje samo jednostavnijih električnih shema, dok se simulacija složenijih sustava rijetko koristi. Polje *Comment* mjerodavno je za unos tipa kod svih vrsta komponenti prilikom transfera električne sheme u modul za projektiranje tiskanih veza i generiranja sastavnice (*Bills of Material*, BOM), dok parametar *Value* postoji samo kod pasivnih komponenti i koristi se isključivo za SPICE simulaciju!

16. (*)[6] Automatizirano označavanje komponenata moguće je obaviti korištenjem opcija *Tools » Annotate Schematics...* ili *Tools » Annotate Schematics Quietly...*

Pažnja: anotacija komponenata može promijeniti raspored *partova* kod *multipart* komponenti, ako je djelomično ručno označavanje provedeno prije antoacije.

17. (*) Napredni postupci promjene svojstava većeg broja komponenti

Promjena svojstava većeg broja komponenti putem dijaloga svojstava klikanjem na svaku komponentu nije učinkovito rješenje. Bolje je koristiti neke naprednije mogućnosti koje nudi Altium Designer, kao što su *Sch List* i *Sch Inspector*. U nastavku će biti opisani postupci promjene svojstava komponenti korištenjem dva navedena pristupa.

18. (*) Selektiranje i maskiranje komponenti i opcija *Find Similar Objects*

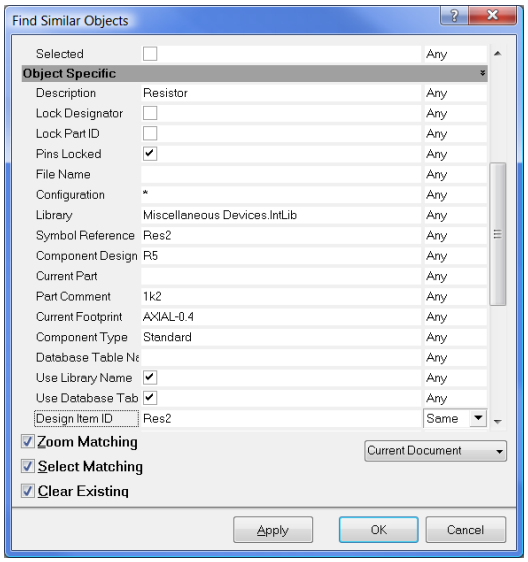
Za postupke istovremene promjene svojstava većeg broja komponenti (i drugih objekata) važno je najprije razumijeti postupke učinkovitog provođenja postupka **selekcije**. Također je važno razumijeti pojam **maskiranja** (**filtriranja**) objekata.

Selekcija grupe objekata na električnoj shemi može se obaviti na više načina:

a) označavanjem pravokutnog područja mišem, na način uobičajen za standardne grafičke programske alate (**pažnja**: tada u selekciju ulaze raznovrsni objekte, ne samo npr. komponente, već i žice, *power portovi* i ostalo što se nađe unutar područja selekcije),
b) *shift* + lijevi klik na svaki objekt kojeg se želi uključiti u selekciju (*toggle selection*),
c) pozivom opcije *Edit » Find Similar Objects* (ili *shift* + *F*). Ta je opcija izuzetno korisna kod rada s Altium Designerom i predstavlja najučinkovitiji način selektiranja većeg broja objekata prema korisnički zadanom kriteriju pretraživanja, pa će biti podrobnije ilustrirana na jednom primjeru.

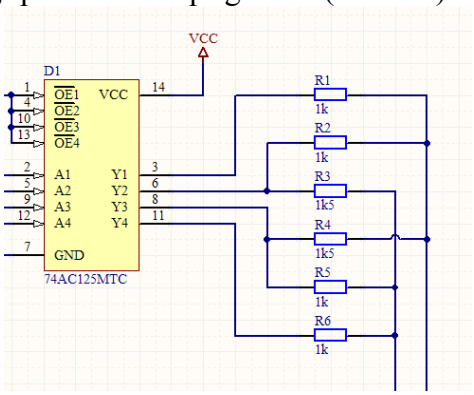
Primjer: selektiranje svih otpornika na slici 2:

a. pozvati *Edit » Find Similar Objects*,
b. kliknuti na neki otpornik (ciljni objekt),
c. pojavljuje se dijalog kao na slici desno,
d. ako se žele selektirati svi otpornici koji su identični odabranom (tj. ista izvorna biblioteka i zapis simbola u njoj), postaviti oznaku uz polje *Design Item ID* (Res2 u primjeru) na vrijednost *Same*,
e. ako se u kriterij pretraživanja želi uključiti još jedan "AND" uvjet (npr. jednak parametar *Value*), uz odabrano polje također postaviti vrijednost *Same*,
f. provjeriti da su uključeni *Select Matching* i *Clear Existing*,
g. pritisnuti OK.

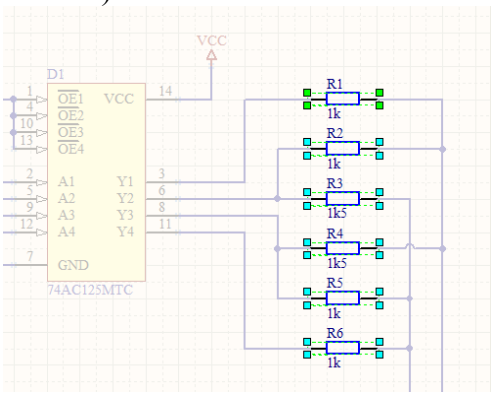


[6] Točke u uputama na početku kojih se nalazi oznaka (*) korisno je pročitati, jer opisuju kako se neke radnje u Altium Designeru mogu lakše i brže obaviti, ali ne predstavljaju korake koji su nužni za izvođenje zadataka predviđenih na laboratorijskoj vježbi

Rezultat je sljedeći:
- sve komponente koje odgovaraju uvjetu pretraživanja se **selektiraju**,
- sve komponente koje ne odgovaraju uvjetu pretraživanja se **maskiraju** u *Sch Editoru* (tj. prikazane su prigušeno (*dimmed*) – vidi sljedeću sliku).

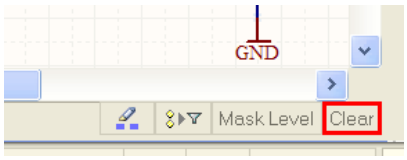


prije *Find Similar Objects*



poslije *Find Similar Objects*

- nad **selektiranim** objektima (oko kojih se pojavljuju maleni **pravokutnici**) moguće je provesti akcije tipične za selekcije, ali samo dok su ti objekti selektirani; objekti se deselektiraju jednostavnim klikom na prazno mjesto na shemi,
- **maskirani** objekti su prikazani prigušeno i privremeno su **nedostupni** za uređivanje (**napomena**: ti će objekti postati ponovno dostupni tek nakon što se klikne gumb *Clear* u donjem desnom kutu prozora!):



Maskiranje je vrlo korisna mogućnost kada je potrebno obaviti više složenih operacija nad nekom grupom objekata, pri čemu se želi postići da svi ostali objekti na električnoj shemi budu privremeno nedostupni (npr. radi lakšeg selektiranja mišem (da u selekciju ne ulaze objekti različitog tipa) i sl.).

Važno je uočiti da maskiranje i selektiranje **nisu** identične operacije!

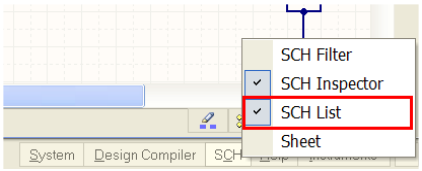
19. (*) Tablično uređivanje svojstava više komponenti putem *Sch List* panela

Sch List panel predstavlja tablicu **selektiranih** objekata (komponenti, žica, portova i sl.) u kojoj se prikazuju svojstva koja su **zajednička** svim objektima u selekciji.

Ako se, primjerice, u selekciji nalaze samo komponente, tada će se u tablici *Sch List* panela nalaziti sva zajednička polja za komponente (uključivo i polja *Designator* i *Comment* koja se mogu uređivati u toj tablici). Ako se uz komponente u selekciji nalaze i npr. žice (*wires*), tada polja *Designator* i *Comment* neće biti biti dostupna u tablici, jer ne pripadaju skupu svojstava žica! (to je problem ako se komponente selektiraju npr. jednostavnim obilježavanjem područja na shemi mišem).

Primjer: tablično uređivanje svojstava otpornika u *Sch List* panelu:
- selektirati sve nacrtane otpornike (najbolje korištenjem opcije *Find Similar Objects* ili putem *shift+lijevi klik* (sporije)),

- prikazati *Sch List* panel (ako već nije vidljiv) na sljedeći način:



- tablica u *Sch List* panelu izgleda (približno) ovako (ako se na prikazani način podesi raspored stupaca):

SCH List

Edit , selected objects from current document Include all types of objects

Component Designator	Part Comment	Current Footprint	Library	Description
R1	1k	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R2	1k	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R3	1k5	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R4	1k5	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R5	1k	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R6	1k	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R7	3M3	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R8	4k7	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R9	22k	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R14	1k5	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R13	1k5	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R12	1k5	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R11	1k5	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor
R10	1k5	AXIAL-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib	Resistor

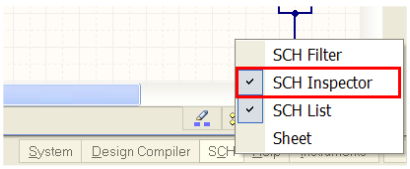
- sva prikazana polja mogu se uređivati izravno u tablici (npr. *Designator*, *Comment* i sl.); to je korisno kada se žele npr. tablično upisivati vrijednosti svih komponenata (npr. otpornika),
- desni klik + *choose columns* omogućava podešavanja stupaca (definiranje uključenosti i rasporeda stupaca).

Napomena: Parametri komponenata (kao npr. *Value*) **ne prikazuju** se u *Sch List* tablici (za njih je potrebno koristiti opciju *Tools » Parameters Manager* ili *Sch Inspector*).

20. (*) Uređivanje svojstava više komponenti putem *Sch Inspector* panela

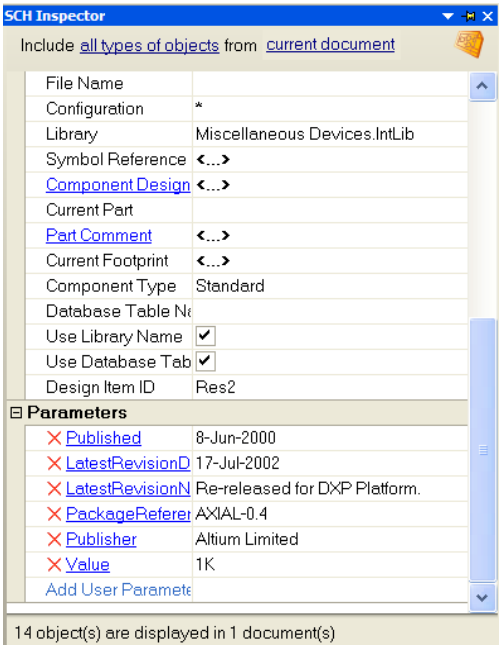
Sch Inspector panel omogućuje **istovremeno** mijenjanje nekog svojstva zajedničkog grupi **selektiranih** objekata (selektiranih na neki od ranije navedenih načina).

Sch Inspector panel može se uključiti na sljedeći način (ako već nije vidljiv):



Primjer: promjena *footprint* polja za sve selektirane otpornike.

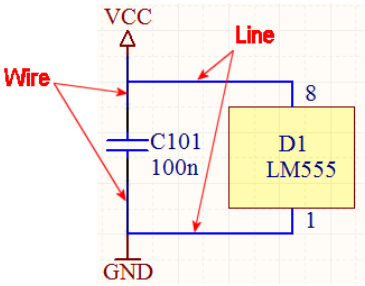
- neka je grupa otpornika selektirana na način kako je opisano uz opis funkcionalnosti *Sch List* panela,
- *Sch Inspector* panel ima (približan) izgled prikazan sljedećom slikom:



- u *Sch Inspector* panelu prikazuju se sva svojstva koja su **zajednička** za sve selektirane komponente (**ne prikazuju** se tablično svojstva pojedinačnih komponenata, za razliku od *Sch List* panela),
- prikazuju se vrijednosti koje su zajedničke svim selektiranim objektima (npr. *Design Item ID* = Res2), dok polja za koja vrijednosti nisu jednake svim selektiranim objektima imaju oznaku "<...>",
- ako se u polje s oznakom "<...>" upiše neka vrijednost (npr. AXIAL-0.4 za *Current footprint* polje), tada će **svi** objekti obuhvaćeni selekcijom poprimiti upravo upisanu vrijednost tog polja (tj. u prikazanom primjeru svi selektirani otpornici imat će *footprint* AXIAL-0.4) (***global change*!**),
- za razliku od *Sch list* panela, preko *Sch Inspectora* mogu se uređivati i parametri komponenata.

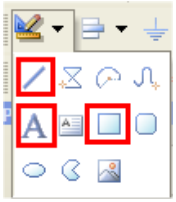
Crtanje blokadnih kondenzatora

21. Blokadni kondenzatori integriranih sklopova obično se ne crtaju uz same komponente, već se prikazuju u izdvojenom dijelu električke sheme (prostor dolje desno na električnoj shemi na slici 1), npr.:



Postupak je sljedeći:
- nacrtati portove napajanja (*Power port* VCC i GND),
- dodati blokadne kondenzatore (100nF, keramika) i povezati ih s portovima napajanja korištenjem *Wire* objekata,
- pokraj svakog blokadnog kondenzatora označiti na koji se integrirani sklop odnosi korištenjem **crtaćih** alata (**linije** (ne žice!), tekstualnog komentara i pravokutnika),

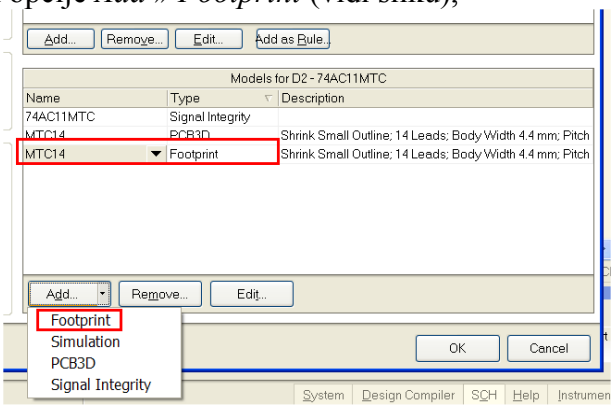
- crtaćim objektima (*drawing objects*) može se pristupiti iz izbornika alata:



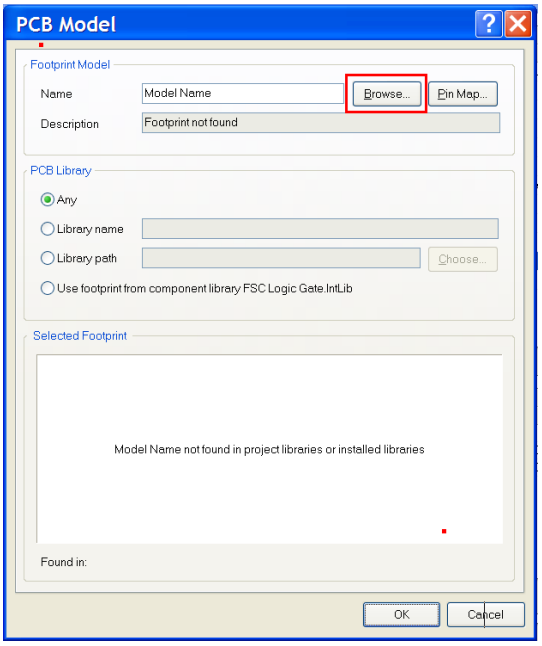
<u>Uređivanje svojstava i informacija o komponentama</u>

22. Odabir fizičke komponente za realizaciju tiskane pločice (*footprint*)

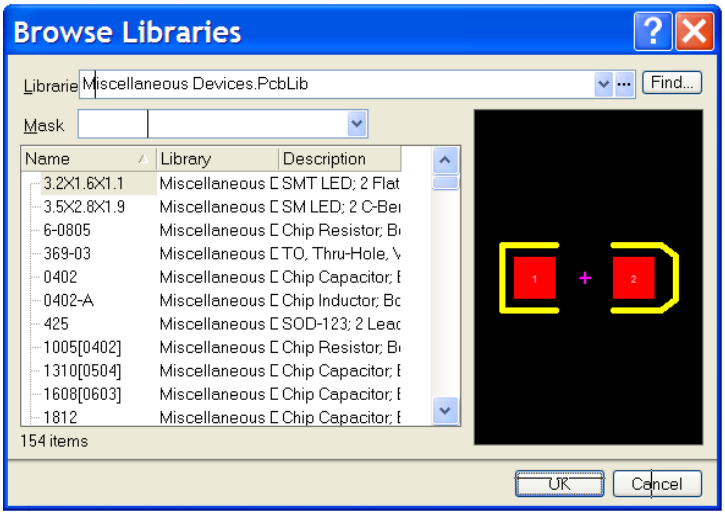
Postupak definiranja *footprinta* za **jednu** komponentu:
- dvostruki klik (dijalog svojstava komponente),
- ako za komponentu nije definiran *footprint* (u izvornoj biblioteci), novi *footprint* može se dodati putem opcije *Add » Footprint* (vidi sliku),



- pojavljuje se sljedeći dijalog:



- pritisnuti gumb *Browse*:



- pojavljuje se popis svih uključenih biblioteka s dostupnim *footprintovima* i popisi *footprintova* u svakoj biblioteci,
- u *Libraries* odabrati odgovarajuću izvornu biblioteku (*IntLib* ili *PCBLib*), a s liste odgovarajući *footprint*

Napomena: Voditi računa da *Designator* polje pina komponente na električnoj shemi mora odgovarati sadržaju *Designator* polja na lemnoj točki (*pad*) PCB komponente (*footprint*).

Napomena: Definicije *footprintova* mogu se nalaziti u *.IntLib ili *.PcbLib bibliotekama. Instalirane *.PcbLib biblioteke nalaze se u mapi *\Library\Pcb*.

U ovoj laboratorijskoj vježbi sve komponente postavljene na električnu shemu prema ranijim naputcima (osim D1) koristit će već definirane *footprinte*.

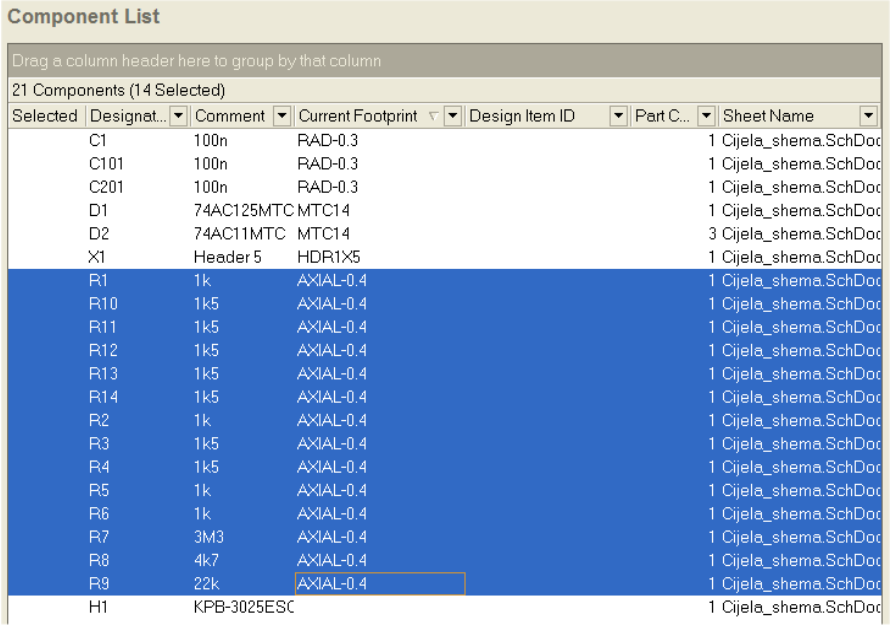
23. (*) Korištenje *Footprint Managera* (*Tools » Footprint Manager*)

Promjena *footprinta* za više komponenata može se ubrzati korištenjem *Footprint Managera* (*Tools » Footprint Manager*).

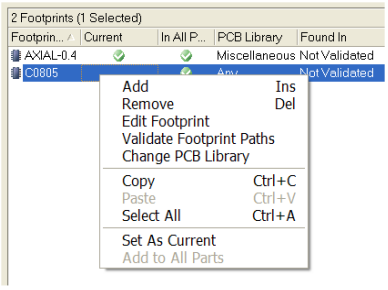
Primjer: promjena *footprinta* AXIAL-0.4 u C0805[7] za sve otpornike na shemi korištenjem *Footprint Managera*:

- pokrenuti footprint manager (*Tools » Footprint Manager*),
- selektirati otpornike u tablici (R1-R14) (*Shift + click* ili *Ctrl + click*),
- dok su otpornici selektirani, pritisnuti gumb *Add* i dodati *footprint* C0805:
  - jedna je mogućnost pretraživanjem **.IntLib* i **.PCBLib* biblioteka, na način opisan u prethodnoj točki,
  - druga je mogućnost ručno upisivanje **imena** *footprinta* (kao ASCII stringa, ako se unaprijed zna naziv *footprinta*), bez pretraživanja biblioteka PCB komponenti,
- novi *footprint* bit će dodan za sve selektirane komponente,

[7] Iako uz *footprint* C0805 stoji opis „*chip capacitor*“, može se slobodno koristiti i za SMD otpornike, jer su istih fizičkih dimenzija!



- za sve komponente definirati da je C0805 trenutno aktivan odabir *footprinta (Set As Current)*:



- pritisnuti gumb *Accept Changes*[8].

24. Za vježbu, promijeniti postojeće *footprintove* komponenata prema sljedećoj tablici, po uputama pod točkama 22 i 23:

Tablica 2: Opis *footprinta* komponenti na električnoj shemi prikazanoj slikom 1

Oznaka	Biblioteka	Footprint
A1	TI Power Mgt Voltage Regulator.IntLib	KC03
D1	Lab2.PcbLib[9]	DIP-8
H1, H2	Miscellaneous Devices.IntLib	DIODE_SMC
V1	Miscellaneous Devices.IntLib	DO-35
R1	Miscellaneous Devices.IntLib	VR3
R2–R5	Miscellaneous Devices.IntLib	AXIAL-0.4
C1, C2	Capacitor Polar Radial Cylinder.PcbLib	CAPPR2-5x6.8
C3, C4, C101	Miscellaneous Devices.IntLib	RAD-0.1
X1	Miscellaneous Devices.IntLib	BAT-2
S1	Lab2.PcbLib	Toggle

[8] Promjene zadane u dijalogu *Footprint Managera* će se reflektirati na shemu tek nakon što se validiraju i prihvate ECO promjene (*Engineering change order*) nakon pritiska na gumb *Accept Changes*

[9] *Lab2.PcbLib* je korisnički definirana biblioteka koja će se izraditi na sljedećim laboratorijskim vježbama.

Napomena: Brza promjena *footprinta* može se obaviti i preko *Sch Inspectora*, uz korištenje opcije *Find Similar Objects* (u određenim slučajevima to je bolji i brži način od korištenja *Footprint Managera*).

Izrada sastavnice

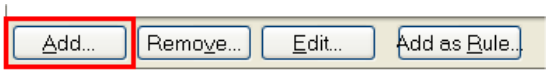
25. Parametri komponenata

Svakom objektu u Altium Designeru mogu se dodijeliti korisnički definirani atributi (tzv. **parametri**). Primjerice, otpornici definirani u biblioteci *Miscellaneous Devices.IntLib* (komponenta *RES2*) ima sljedeće predefinirane parametre u izvornoj biblioteci:

Parameters for R9 - Res2

Visible	Name	Value	Type
☐	LatestRevisionDate	17-Jul-2002	STRING
☐	LatestRevisionNote	Re-released for DXP Platform.	STRING
☐	PackageReference	AXIAL-0.4	STRING
☐	Published	8-Jun-2000	STRING
☐	Publisher	Altium Limited	STRING
☐	Value	1K	STRING

Neki novi parametar za komponentu može se dodati pritiskom na *Add* gumb u dijalogu svojstava komponente:



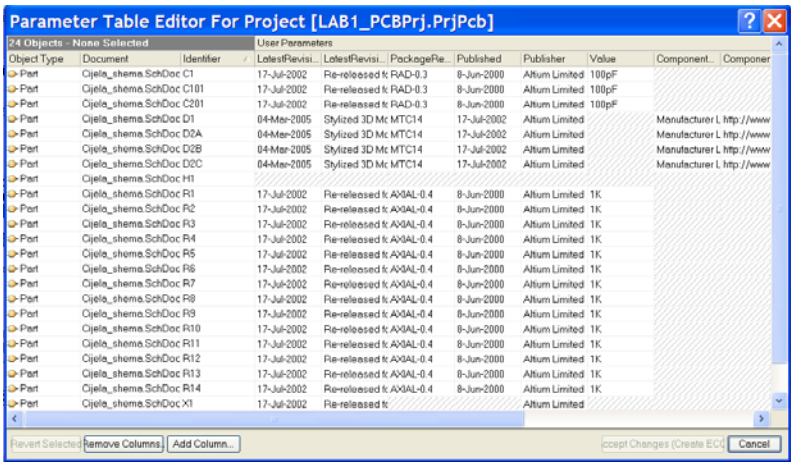
Polje *Name* u dijalogu koji se pritom pojavljuje označava **naziv** parametra (npr. "*Publisher*" u gornjem primjeru), a *Value* njegovu **vrijednost** (npr. "*Altium Limited*").

26. Korištenje *Parameter Managera* (*Tools » Parameter Manager*)

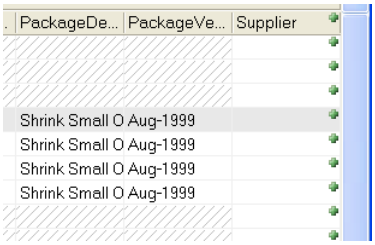
Parametri su posebno korisni npr. kod izrade sastavnice (*Bill of materials, BOM*). Kada se na električnoj shemi nalazi veći broj komponenti, ručno dodavanje i uređivanje parametara putem dijaloga svojstava komponenti nije učinkovito, već je bolje koristiti tablično sučelje *Parameter Managera*.

Primjer: Dodavanje polja *Supplier*, *StockNo* i *Price* za sve komponente na električkoj shemi (za definiranje dobavljača, kataloškog broja i cijene svake komponente):

- pozvati opciju *Tools » Parameter Manager*; u dijalogu koji se pritom pojavljuje uključiti samo prikaz parametara komponenti (*checkbox* pokraj polja *Parts*),
- pojavljuje se tablica koja sadrži parametre svih komponenti na električnoj shemi (vidi sliku),



- za dodavanje novog parametra (npr. *Supplier*) potrebno je napraviti sljedeće korake:
  - desni klik na tablicu parametara + *Add Column*,
  - napisati *Supplier* u *Name* polje i uključiti *Add to all objects*,
  - u novododanom stupcu pojavljuju se zelene oznake "+":



  - zelena oznaka"+" znači da parametar još uvijek **nije dodan** na električnu shemu (ali da će biti ako se prihvati ECO! (*Engineering Change Order*)),
  - pritisnuti gumb *Accept Changes*,
  - pritisnuti *Validate changes* i zatim *Execute changes*,
  - tek nakon toga je parametar *Supplier* dodan svim komponentama na električnoj shemi.
- postupak je potrebno ponoviti i za parametre *StockNo* i *Price*.

Sada sve komponente na električnoj shemi imaju dodane parametre *Supplier*, *StockNo* i *Price*. Upisivanje vrijednosti tih parametara može se obaviti:

- ručno (putem dijaloga svojstava komponente – sporo i neučinkovito!),
- putem *Sch Inspectora* (ali ne i *Sch Liste*! – tamo nisu dostupni parametri komponenata),
- korištenjem *Parameter Managera*.

U tablici 3 nalaze se podaci za izradu sastavnice koje je potrebno dodati u shemu korištenjem *Parameter Managera* ili *Sch Inspectora*. U nastavku će biti opisana oba pristupa.

Tablica 3: Sastavnica

Oznaka	Tip	Dobavljač	Kat. broj	Cijena [Kn]
A1	UA7805CKCS	Farnell	1575574	3,88
D1	LM555CN	Farnell	9488235	6,30
H1	LED crvena	Farnell	1519490	1,28
H2	LED zelena	Farnell	1519493	3,69
V1	1N4148	Farnell	9843680	0,29
R1	100k	Chipoteka	2730013001	6,19
R2	8k6	Chipoteka	2210072501	0,39
R3	220k	Chipoteka	2210106500	0,39
R4, R5	1k2	Chipoteka	2210051001	0,39
C1	330n/50V	Farnell	1902922	0,30
C2	10u/50V	Farnell	1902919	0,30
C3, C101	100n	Farnell	1141775	1,20
C4	10n	Farnell	1141772	0,80
X1	2-pinski konektor	Chipoteka	2630505130	1,80
S1	25136NAH	RS Components	132-3023	30,75

Dodavanje podataka za sastavnicu korištenjem ***Parameter Managera***:

- pronaći redak u tablici parametara koji se odnosi na komponentu kojoj se žele promijeniti podaci za sastavnicu,
- unošenje vrijednosti: desni klik na odgovarajuće polje + *Edit* (npr. *Price*):

	User Parameters				
Identifier	LatestRevisi...	LatestRevisi...	PackageRe...	Price	Published
Doc C1	17-Jul-2002	Re-released fc	RAD-0.3		8-Jun-2000
Doc C101	17-Jul-2002	Re-released fc	RAD-0.3		8-Jun-2000
Doc C201	17-Jul-2002	Re-released fc	RAD-0.3		8-Jun-2000
Doc D1	04-Mar-2005	Stylized 3D Mc	MTC14		17-Jul-2002
Doc D2A	04-Mar-2005	Stylized 3D Mc	MTC14		17-Jul-2002
Doc D2B	04-Mar-2005	Stylized 3D Mc	MTC14		17-Jul-2002
Doc D2C	04-Mar-2005	Stylized 3D Mc	MTC14		17-Jul-2002
Doc H1					
Doc R1	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn	8-Jun-2000
Doc R2	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4		8-Jun-2000
Doc R3	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4		8-Jun-2000

- ako je istu vrijednost parametra potrebno unijeti više puta, najjednostavnije je odabrati ćeliju s parametrom, pritisnuti *Ctrl+Ins* (Copy), a zatim *Shift+Ins* (*Paste*) tamo gdje se želi kopirati vrijednost parametra,
- uz pritisnuti *Shift* + *strelica* (gore/dolje) može se selektirati više odredišnih ćelija:

hDoc R1	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn
hDoc R2	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn
hDoc R3	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn
hDoc R4	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	
hDoc R5	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	
hDoc R6	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	
hDoc R7	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	
hDoc R8	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	
hDoc R9	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	
hDoc R10	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	

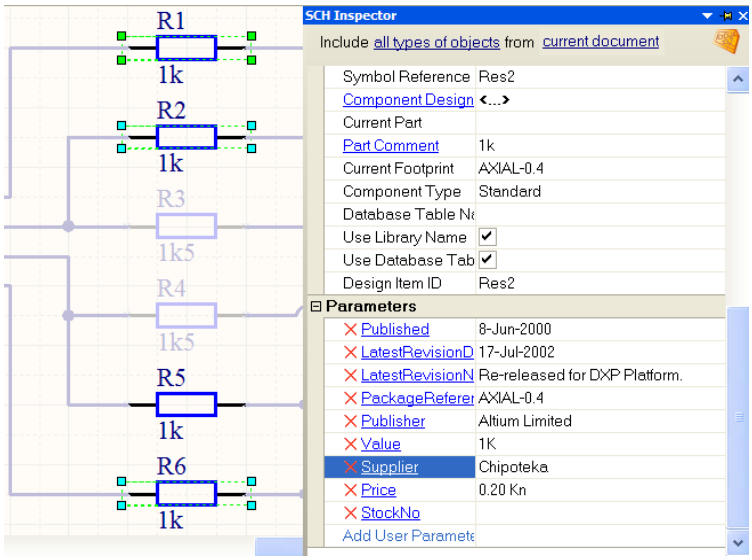
- *Shift* + *Ins* kopirat će vrijednost parametra iz izvorišne u ciljne ćelije:

R1	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn
R2	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn
R3	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn
R4	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	
R5	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	
R6	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn
R7	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn
R8	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn
R9	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn
R10	17-Jul-2002	Re-released fc	AXIAL-0.4	0.20 Kn

- ponoviti postupak dok se ne unesu sve potrebne informacije za sastavnicu,
- pritisnuti gumb *Accept Changes* i prihvatiti ECO.
-

Dodavanje podataka za sastavnicu putem ***Sch Inspectora*** često može biti znatno učinkovitije od uređivanja tablice u *Parameter Manageru*:

- putem *Edit » Find Similar Objects* opcije odabrati sve istovrsne komponente za koje se žele unijeti identični podaci za sastavnicu (preporučljivo je da to budu komponente koje imaju istu vrijednost polja *Part Comment* i *Current Footprint*),
- npr. svim odabranim komponentama želi se za parametar *Supplier* upisati vrijednost "*Chipoteka*"; dovoljno je u *Parameters* okviru *Sch Inspectora* u polje parametra *Supplier* (koji je prethodno dodan svim komponentama korištenjem *Parameter Managera*) upisati tekst "*Chipoteka*" i pritisnuti tipku *Enter*:



- u istom koraku mogu se u upisati i ostale potrebne informacije za sastavnicu (npr. za parametre *StockNo*, *Price*), bez potrebe za ponavljanjem cijelog postupka globalne selekcije komponenata.

Napomena: Nakon korištenja opcije *Edit » Find Similar Objects* putem gumba *Clear* resetirati filtriranje (maskiranje) komponenata na električnoj shemi, kako bi opet postale dostupne za uređivanje.

27. Generiranje sastavnice (*Bill of materials, BOM*)

Sastavnica se može generirati nakon unošenja informacija u odgovarajuće korisnički definirane parametre komponenata na električnoj shemi. Pozvati opciju *Reports » Bill of materials*:

- program će automatski generirati sastavnicu,
- potrebno je ručno uključiti parametre *Dobavljač*, *Kat. br.* i *Cijena* u tablični prikaz (iz *All columns* popisa, klikanjem na *checkbox* objekte u *Show* stupcu),
- primjer djelomično ispunjene sastavnice:

Comment	Description	Designat...	Footprint	Price	Quantity	StockNo	Supplier
100n	Capacitor	C1, C101, C201	RAD-0.3		3		
74AC125MTC	Quad Buffer with	D1	MTC14		1		
74AC11MTC	Triple 3-Input AN	D2	MTC14		1		
KPB-3025ESGC		H1			1		
1k	Resistor	R1, R2, R5, R6	AXIAL-0.4	0.20 Kn	4		Chipoteka, Chip
1k5	Resistor	R3, R4, R10, R1	AXIAL-0.4	0.20 Kn	6		
3M3	Resistor	R7	AXIAL-0.4	0.20 Kn	1		
4k7	Resistor	R8	AXIAL-0.4	0.20 Kn	1		
22k	Resistor	R9	AXIAL-0.4	0.20 Kn	1		
1k5	Resistor	R13	C0805		1		
Header 5	Header, 5-Pin	X1	HDR1X5		1		
Header 2	Header, 2-Pin	X2	HDR1X2		1		

- sastavnicu je moguće pohraniti u MS Excel datoteku pritiskom na gumb *Export*.

Zadatak: Za električnu shemu kreirati sastavnicu i pohraniti je kao MS Excel i html datoteku.

ERC provjera

28. Provjera ispravnosti električnog dizajna (*Electrical rule check, ERC*)

Nakon uspješno provedenog unosa električne sheme, potrebno je **kompajlirati** dizajn. Kompajlirati se može ili cijeli projekt ili neki njegovi dijelovi (sheme, biblioteke, PCB datoteke i sl.). Postupak kompajliranja pokreće se pritiskom na desni gumb miša u *Project Explorer* panelu + *Compile*.

Prilikom kompajliranja električne sheme, provest će se, između ostalog, i sljedeći postupci:
- provjera ispravnosti električnog projektiranja (*Electrical rule check, ERC*),
- izgradnja hijerarhije (ako se koristi).

ERC pravila mogu se podešavati i provjeravati na razini projekta putem opcija *Project » Project Options » Error Reporting* i *Project » Project Options » Connection Matrix* (u pravilu, nije potrebno mijenjati *default* programske postavke).

Ukoliko se otkriju pogreške prilikom kompajliranja, otvorit će se *Messages* panel u kojem se mogu proučiti pogreške otkrivene prilikom ERC provjere. Tek nakon što se otkriju i uklone sve ERC pogreške, električna shema je spremna za transfer u modul za projektiranje tiskanih pločica (PCB modul).

Provjera spojne liste

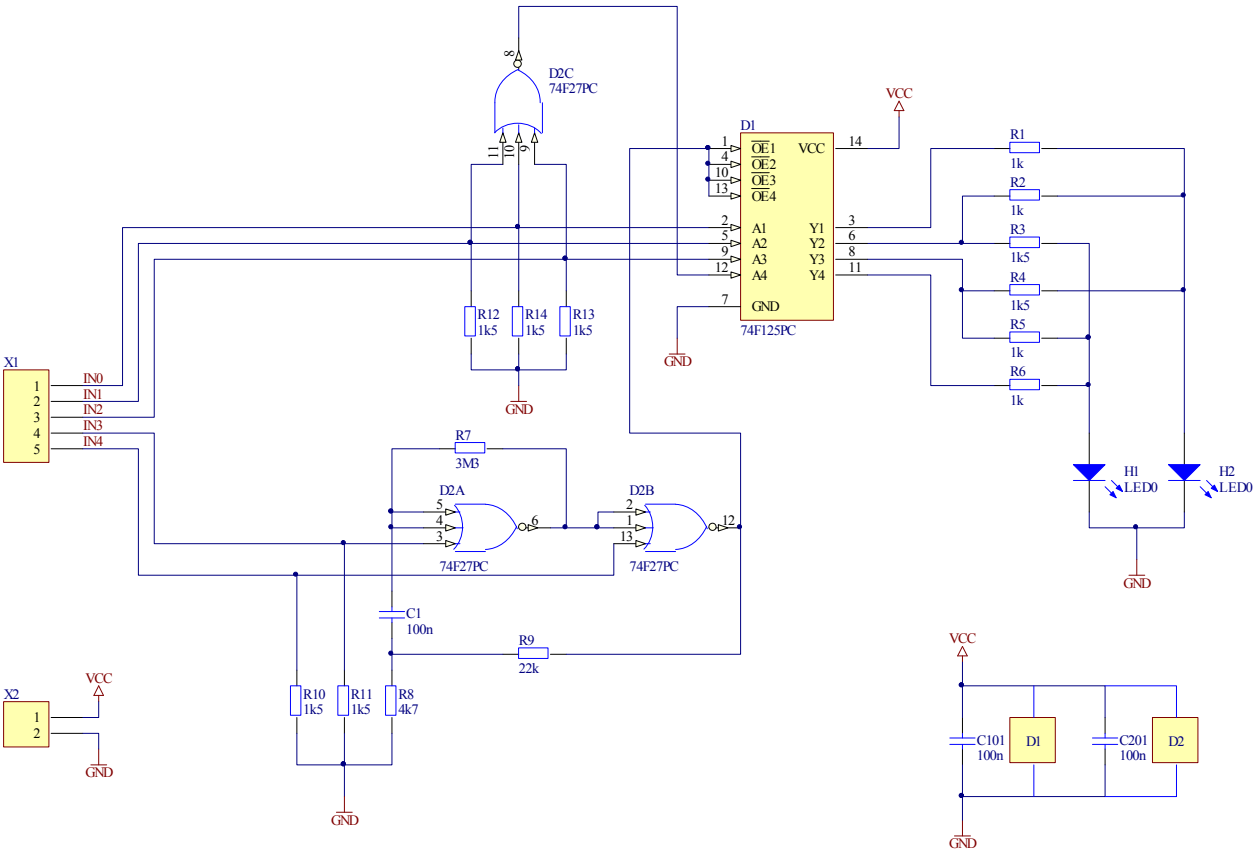
29. Ručno generiranje spojne liste (*netlist* datoteke)

Spojna lista predstavlja tekstualni opis električne sheme (u ASCII formatu) koji sadrži sve bitne informacije o električnoj shemi, u obliku razumljivom modulu za projektiranje tiskanih veza. Spojna lista generira se u pozadini postupka kompajliranja projekta, ali nije vidljiva osim ako se eksplicitno ne generira *netlist* (*.NET) datoteka. U spojnoj listi nalaze se sve informacije o komponentama i električnim vezama među njima.

Netlist datoteka za PCB projekt generira se pozivom opcije *Design » Netlist for Project » Protel* (pojavljuje se u čvoru projektnog stabla *\Generated\Netlist Files*.NET*) i može se u pregledati u običnom tekst editoru (dvostruki klik na generiranu datoteku).

Zadaci za vježbu[10]:

- kreirati novi PCB projekt u kojem će shema prikazana slikom 2 biti realizirana korištenjem hijerarhije (vidi naputke u zadnjoj točki ovih uputa),
- u biblioteci *Lab1.SchLib* napraviti alternativne verzije električnih komponenti D1 i D2; korisnički definirane komponente D1 i D2 postaviti u PCB projekt realiziran korištenjem hijerarhijskog pristupa.

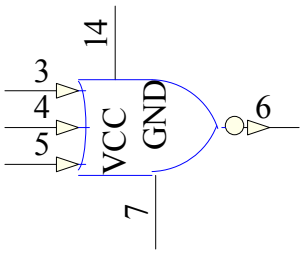


Slika 2: Električna shema

30. (**) Crtanje komponente 7427 (troulazna NILI vrata, *multipart* komponenta)

Postupak crtanja *multipart* komponente 7427 je sljedeći:

- dodati novu komponentu u *SchLib* biblioteku (putem opcije *Tools » New Component*),
- promijeniti ime komponente (korištenjem opcije *Tools » Rename component*) u 7427,
- nacrtati *part* 1 (korištenjem linija, pinova i lukova); izgled komponente je sljedeći:

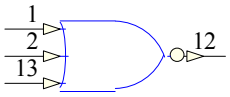


[10] Zadaci za vježbu mogu se napraviti i kod kuće, u slučaju da ne bude dovoljno vremena na laboratorijskim vježbama

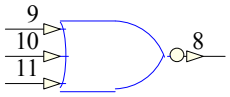
- **napomena**: prilikom crtanja grafičkog prikaza simbola korisno je isključiti snap grid (tj. pritiskom na *G* tipku promijeniti snap grid na vrijednost 1); međutim, pinove je poželjno postavljati na grubljem snap gridu (10), radi lakšeg povezivanja na el. shemi!
- za pinove unijeti sljedeće informacije:

Designator /visible	Display name /visible	Connect to	Type	Hide
3/da	/ne		input	ne
4/da	/ne		input	ne
5/da	/ne		input	ne
6/da	/ne		output	ne
14/da	VCC	VCC	power	da
7/da	GND	GND	power	da

- **napomena**: informacije o pinovima mogu se brzo uređivati korištenjem *Sch List* i *Sch Inspector* panela,
- za pin 6 zadati "*outside edge* = DOT" (oznaka logičke negacije na izlazu),
- dodati novi *part* putem opcije *Tools » New Part*,
- nacrtati *part* 2 (preporučljivo napraviti *Copy-Paste* postojeće definicije *part* 1):



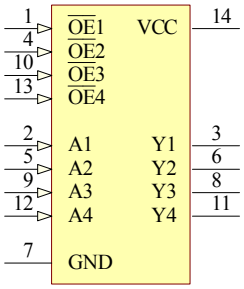
- isto ponoviti i za *part* 3:



Napomena: skrivene pinove napajanja dovoljno je nacrtati samo na jednom *partu*. Međutim, ako se taj *part* ne postavi eksplicitno na električnu shemu, tada se skriveni pinovi napajanja komponente neće povezati s mrežama napajanja (u pravilu, svi *partovi* komponente trebali bi biti vidljivi na električnoj shemi).

Ukoliko se pinovima 7 (GND) i 14 (VCC) na *partu* 1 postavi ručno svojstvo **PART=0** u dijalogu svojstava pina, tada će ti pinovi uvijek postojati na električnoj shemi, bez obzira da li je na nju postavljen onaj *part* u kojem su ti pinovi i stvarno definirani. "*Part*" svojstvo pina postoji upravo iz tog razloga.

31. (**) Crtanje komponente 74125 (*single part* integrirani sklop s većim brojem pinova)



Postupak crtanja komponente 74125 je sljedeći:

- dodati novu komponentu u *SchLib* biblioteku (putem opcije *Tools » New Component*),
- promijeniti ime komponente (korištenjem opcije *Tools » Rename component*) u 74125,
- postaviti pravokutnik (koji simbolizira da se radi o integriranom sklopu) u ishodište radnog prostora (na sredini "virtualnog" papira),
- nacrtati izvode komponente prema slici,
- za sve izvode uključiti prikaz *Display name* i *Designator* polja; na ispravno postavljenom pinu *Display name* mora se naći unutar pravokutnika (opis funkcije pina), a *Designator* izvan njega (redni broj izvoda na kućištu komponente),
- za pinove u negativnoj logici znak negacije iznad slova u *Display name* dobiva se postavljanjem znaka "\" ispred svakog slova, npr: "\O\E\1"
- pinove napajanja preporučljivo je sakriti, kako je opisano kod komponente 7427 (ovdje nije potrebno koristiti mogućnost definiranja svojstva pina *part=0*, jer se ne radi o *multipart* komponenti)

32. (**) Nacrtati električnu shemu sa slike 2 korištenjem hijerarhijskog pristupa

Hijerarhijski pristup crtanju električne sheme omogućuje podjelu složenog dizajna u više jednostavnijih cjelina. Ishodište hijerarhije predstavlja *top* shema, na koju se postavljaju *Sheet Symbol* objekti, koji definiraju uključenost podređenih shema u hijerarhijsko stablo (potrebno je definirati simbolički naziv *Sheet Symbola* i ime datoteke na koji pokazuje (*.SchDoc)). Na *Sheet Symbol* objekte postavljaju se *Sheet Entry* objekti, koji određuju način razmjene signala između sheme višeg stupnja hijerarhije (*parent*) sa shemom nižeg stupnja (*child*) (vidi slike).

U prikazanom primjeru postupak izrade hijerarhijskog dizajna je sljedeći:

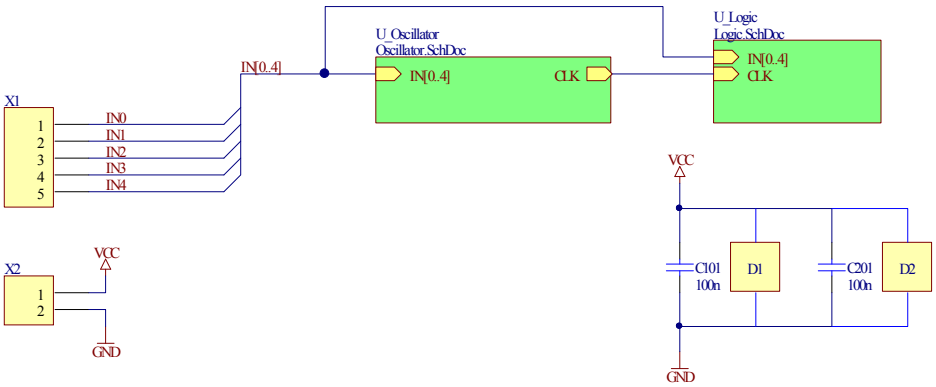
- otvoriti i pohraniti novi prazni PCB projekt (npr. *Lab1_H.PrjPcb*),
- dodati tri nove prazne električne sheme korištenjem opcije *Add New to Project*; pohraniti novododane sheme na disk (kao npr. *Top.SchDoc*, *Oscillator.SchDoc* i *Logic.SchDoc*),
- sa električne sheme iz prethodno završenog projekta *Lab1.PrjPcb* korištenjem *Copy-Paste* opcije kopirati dijelove dizajna na sve tri novokreirane sheme (prema slikama u nastavku),
- shemu *Oscillator.SchDoc* potrebno je doraditi na sljedeći način:
    - dodati *Port* objekt IN[0..4], povezati ga s *Bus* objektom, na *Bus* dodati *net label* IN[0..4]; net labela "IN[0..4]" znači da je na *Bus* spojeno pet mreža (IN0, IN1, ... , IN4 – logički *bus*); mreže IN0, IN1, ... , IN4 s *Top.SchDoc* će se proslijediti na *Oscillator.SchDoc* preko *Sheet Entry* i *Port* objekata (*Sheet Entry* nalazi se na *Sheet Symbolu* na *Top.SchDoc*, a odgovarajući *port* na *Oscillator.SchDoc*),
    - ako se prosljeđuje samo jedan signal, tada svaki *Sheet Entry* odgovara jednoj žici (*wire*) (npr. CLK na slici);
      napomena: žice na *top* i *child* shemama potrebno je eksplicitno imenovati korištenjem *net labela* (istog imena), tj. nije ih dovoljno samo spojiti na portove, jer portovi <u>ne mogu imenovati</u> mrežu (bitno je jedino da se *portovi* i *sheet entryiji* jednako zovu; eksplicitno imenovanje mreže uvijek obavlja korištenjem net labela!),
    - kada se želi proslijediti istovremeno više žica kroz jedan *Sheet Symbol*, mogu se koristiti tzv. *logički busevi* (vidi detaljnija objašnjenja u dokumentu *AR0123 Connectivity and Multi-Sheet Design.pdf*);

napomene: logički bus može se imenovati putem *net labele* na ranije opisani način samo ako se strogo poštuje sintaksa *<prefix><neprekinuta_numeracija>*; ukoliko *net labele* pridjeljene nekom *busu* nemaju takvu nomenklaturu, tada se *bus* ne može spojiti na *Sheet Entry* kao cjelina (tj. kao logički bus), već je za svaku mrežu (žicu) iz *busa* potrebno definirati poseban *Sheet Entry* (pojedinačno)!

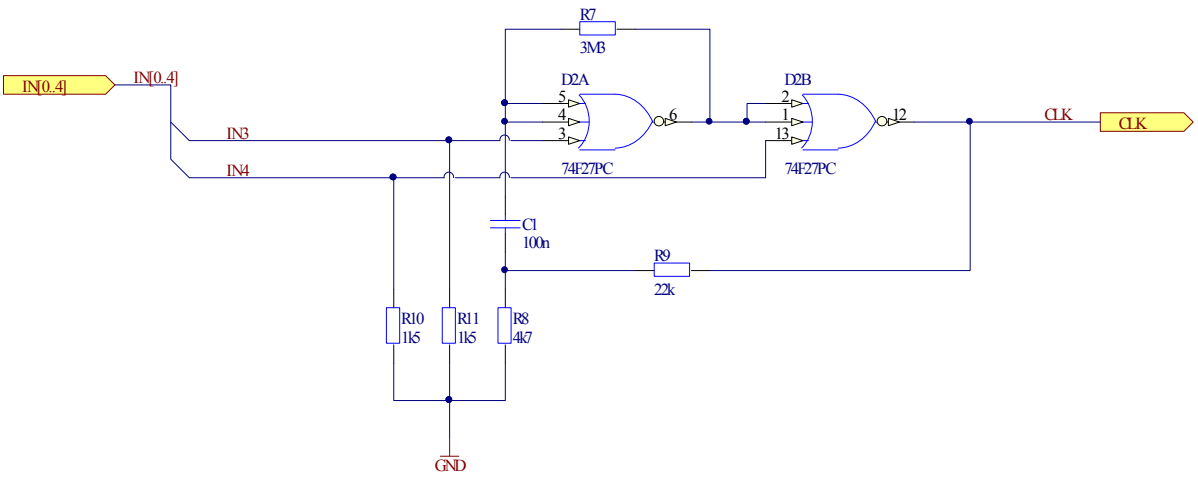
  - definirati *Port* objekt IN[0..4] kao ulazni,
  - postaviti *Port* objekt CLK i definirati ga kao izlazni,

- napraviti isti postupak za shemu *Logic.SchDoc*:
  - postaviti *Port* objekt IN[0..4] i definirati ga kao ulazni,
  - postaviti *Port* objekt CLK i definirati ga kao ulazni,
- na *top* električnu shemu (*Top.SchDoc*) dodati dva *Sheet Symbola* (zeleni pravokutnici); dodavanje se može obaviti ručno (uz ručno dodavanje *Sheet Entryja* i upisivanje informacija za povezivanje sa shemama u datotekama), ali je puno bolje i brže koristiti opciju *Design » Create Sheet Symbol from Sheet or HDL*
- pozivom opcije *Compile Project* automatski će se generirati hijerarhijsko stablo,
- na kraju, za vježbu zamijeniti postojeće komponente D1 i D2 korisnički definiranim komponentama 7427 i 74125.

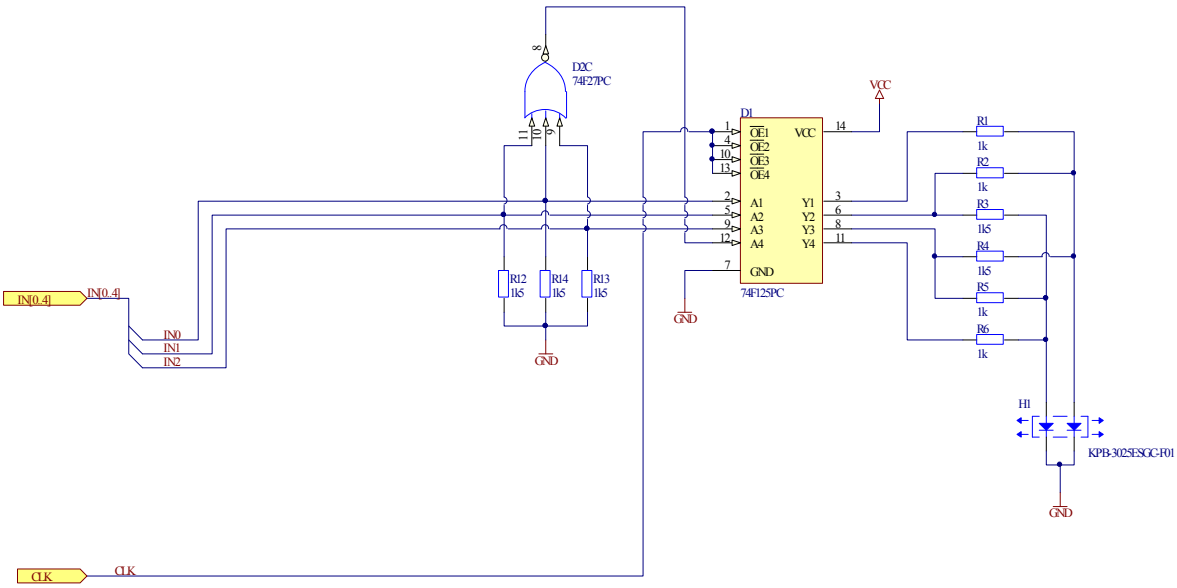
Hijerarhijsko stablo projekta



Top.SchDoc



Oscillator.SchDoc



Logic.SchDoc