



Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

4. Tehničko dokumentiranje i upute za izradu programa

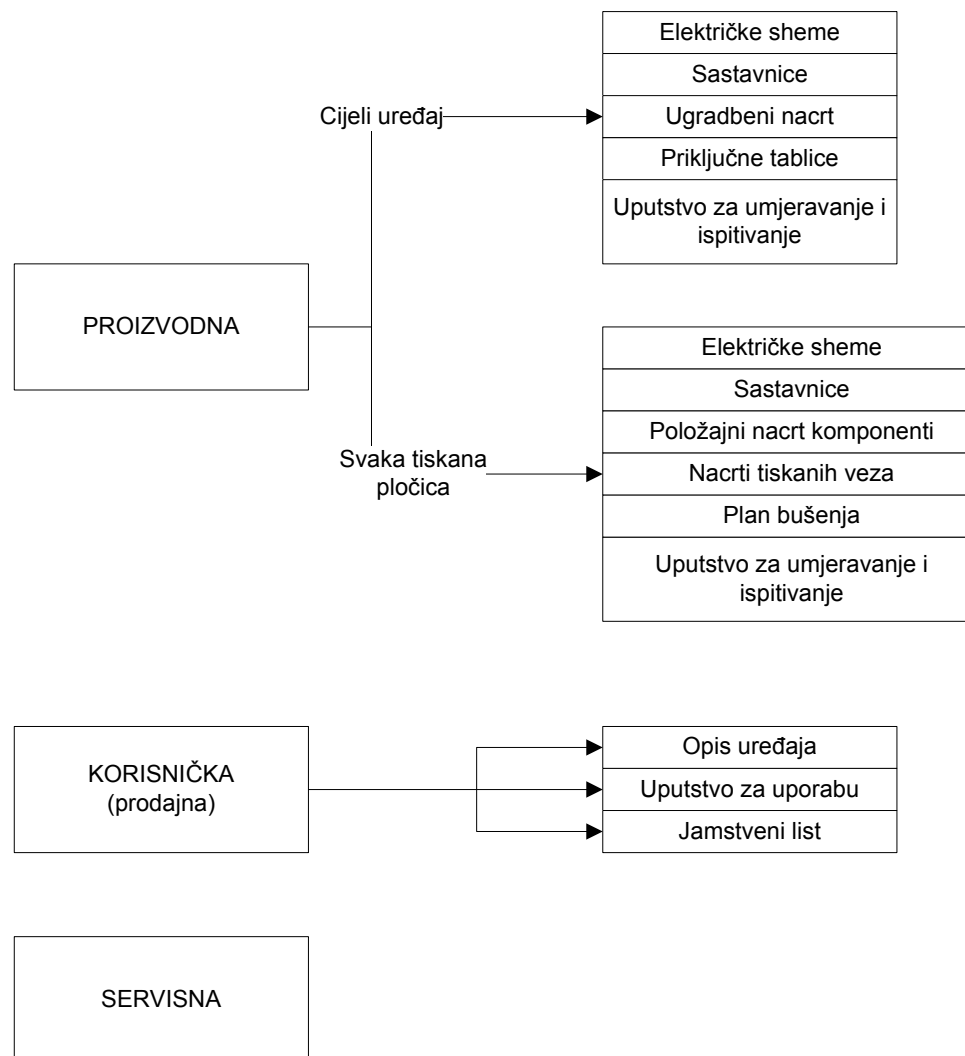
M. Cifrek, H. Džapo
ak.god. 2007/2008

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 označavanja 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 50mm ³	1	1 - Protection against vertically falling drops of water (e.g. condensation)
2	2 - Protected against solid objects up to 12mm ³	2	2 - Protection against direct sprays of water up to 15 degrees from vertical
3	3 - Protected against solid objects up to 2.5mm ³	3	3 - Protection against direct sprays of water up to 60 degrees from vertical
4	4 - Protected against solid objects up to 1mm ³	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

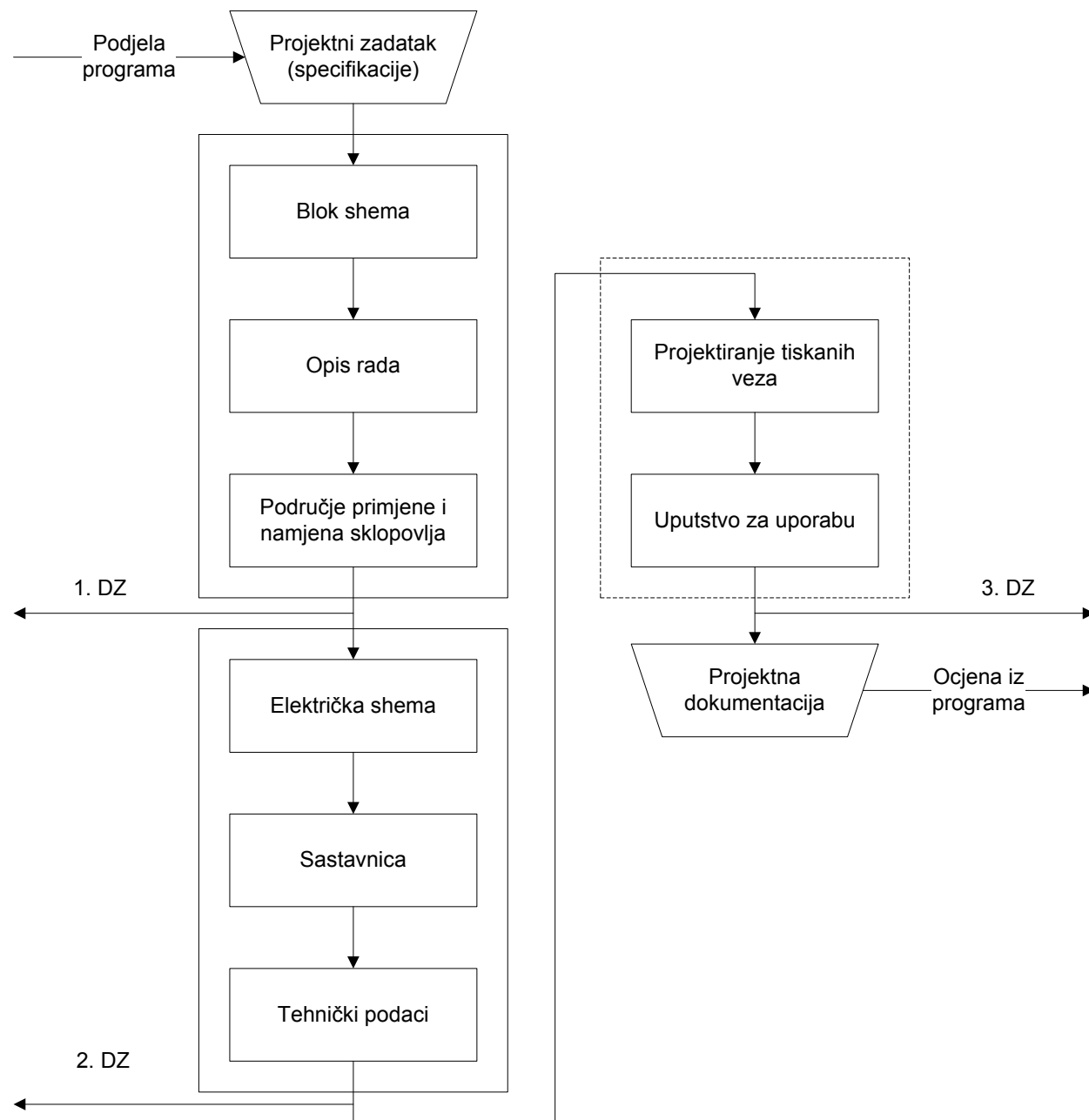
- cilj programa: upoznavanje studenata s cjelokupnim postupkom projektiranja elektroničkog uređaja i izrade tehničke dokumentacije
- program obuhvaća:
 - djelomično projektiranje elektroničkog uređaja:
 - analiza specifikacija, crtanje blok sheme, crtanje električke sheme, projektiranje tiskane pločice
 - 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:



Upute za izradu programa

- program se predaje:
 - u tiskanom obliku - **cjelokupna** dokumentacija u formi seminara (*.doc predložak nalazit će se na web-u)
 - u elektroničkom obliku - **sve izvorne datoteke** postupka projektiranja (električke sheme (*.sch), biblioteke komponenata (*.schlib, *.pcblib, *.intlib), tiskane veze (*.pcb))
- 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
- **konzultacije:**
 - petak 12 h
 - četvrtak 13 h (za RI kada su predavanja petkom prijemne)
 - demonstratori: četvrtak 10 h/16 h

0. Opće napomene

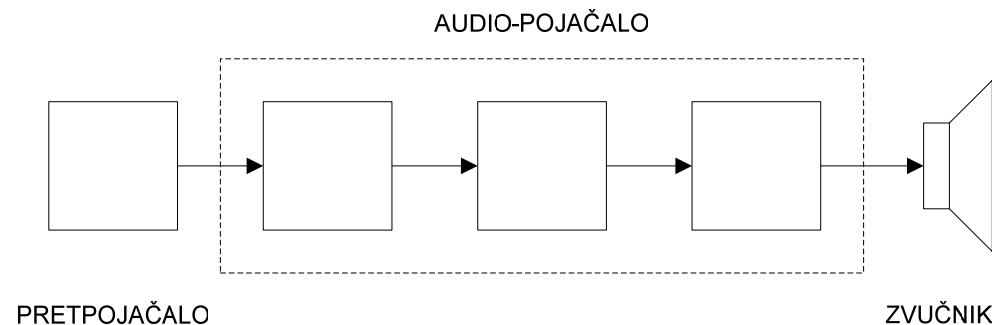
- na web stranicama predmeta bit će postavljen template Word dokumenta
- naslovna stranica: ime, prezime, JMBAG, naziv programa, datum predaje
- sadržaj
- svako poglavlje započeti na novoj stranici

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:
 - izbjegavati buffer, latch, trigger, pin, tastatura itd.
 - preferiraju se 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

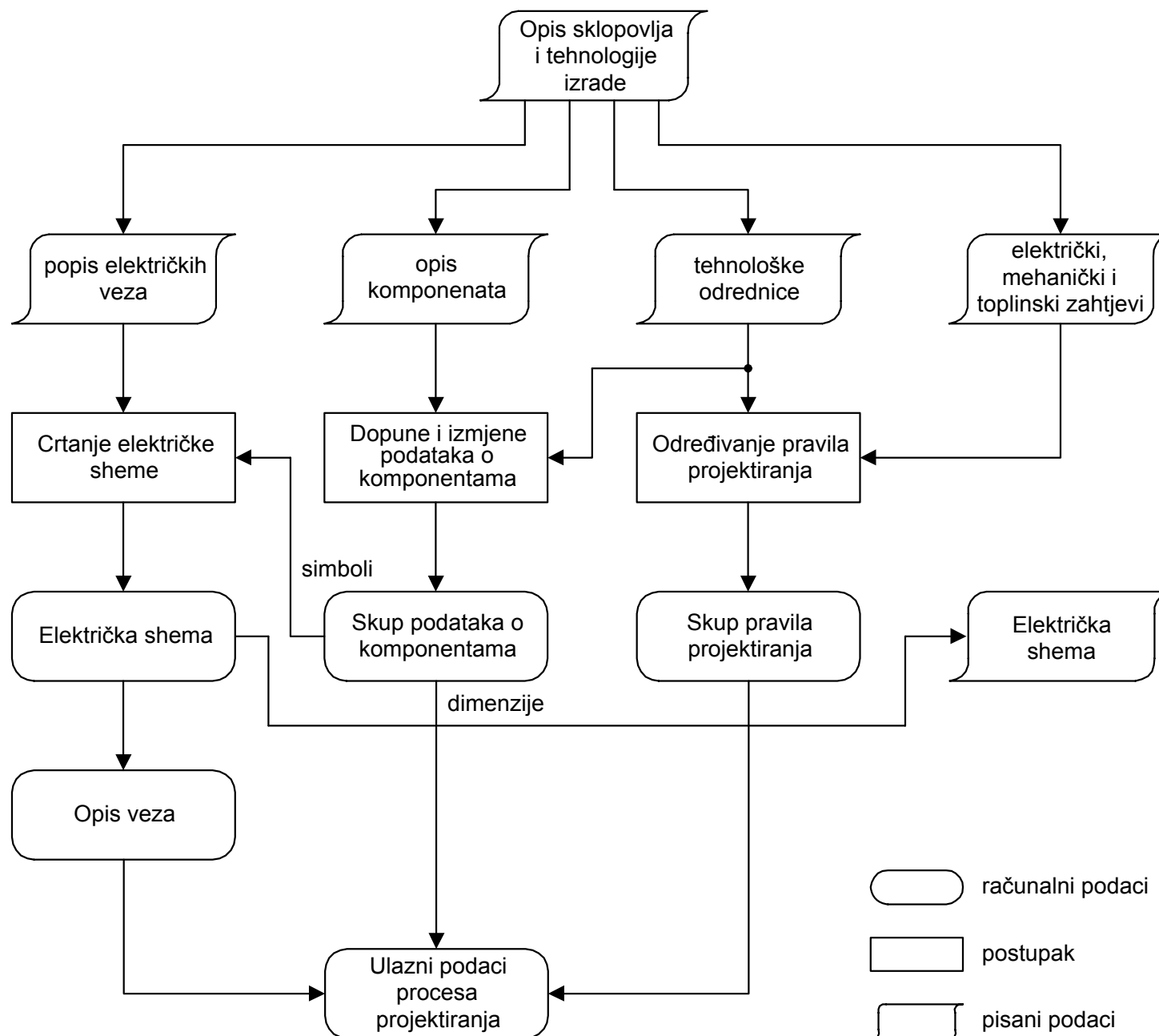
- kompleksnost pojedinog bloka ovisi o strukturi cjelokupnog sklopovlja
- blokova ne smije biti previše, niti premalo
- do crtati blokove koji nisu dio samog električkog sustava, a važni su za obavljanje njegove funkcije (crtkano označiti što je dio zadane električke sheme):



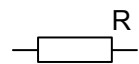
- **funkcijska blok shema** (služi korisnicima i serviserima) – nazivlje blokova treba oslikavati njihovu **funkciju!** (blok se ne može nazvati bilo kako (npr. “ulazni stupanj”, “međustupanj” i sl.), već prema funkciji (npr. “ulazni stupanj za prilagodbu signala”))

3. Električka shema

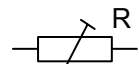
- sklop je zadan nepotpunom električkom shemom (iako će najveći dio sheme bit zadan)
- za cjelovitost električke sheme potrebno je voditi računa o tome da se sklop fizički realizira na tiskanoj pločici
- električku shemu bit će potrebno nadopuniti s npr.:
 - blokadnim kondenzatorima
 - elektrotermičkim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



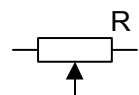
OZNAKA	VRSTA KOMPONENATA
A	analogni integrirani sklopovi
B	pretvornici neelektričnih veličina u električne
C	kondenzatori i promjenljivi kondenzatori
D	digitalni integrirani sklopovi
E	komponente za rasvjetu i grijanje
F	komponente za zaštitu (osigurači, VDR-otpornici)
G	izvori (generatori)
H	komponente 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 potencijometri), 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)



OTPORNIK



PROMJENJLJIVI
OTPORNIK (TRIMER)



PROMJENJLJIVI
OTPORNIK
(POTENCIOMETAR)



KONDENZATOR



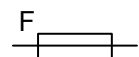
ELEKTROLITSKI
KONDENZATOR



PROMJENJLJIVI
KONDENZATOR



ZAVOJNICA



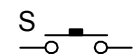
OSIGURAČ



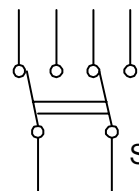
KRISTAL



BATERIJA
(AKUMULATOR)



TIPKALO



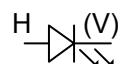
DVOSTRUKA
PREKLOPKA



DIODA



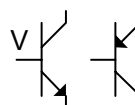
SCHOTTKY DIODA



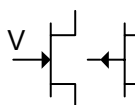
SVJETLEĆA DIODA



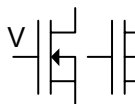
ZENER DIODA



TRANZISTOR
NPN I PNP



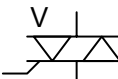
SPOJNI FET
N I P KANALNI



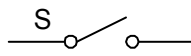
MOSFET
N I P KANALNI



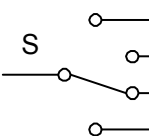
TIRISTOR



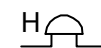
TRIJAK



SKLOPKA



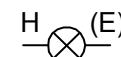
VIŠEIZVODNA
PREKLOPKA



ZVONCE



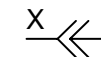
ZUJALO



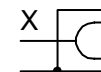
ŽARULJA



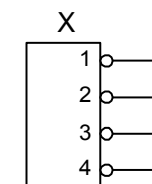
UTIČNICA



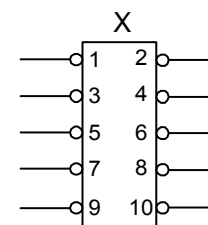
UTIKAČ



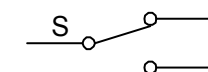
BNC



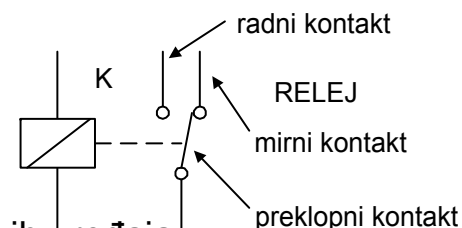
REDNI
KONEKTOR



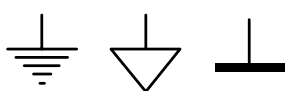
DVOREDNI
KONEKTOR



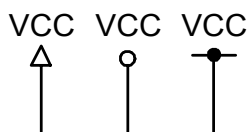
PREKLOPKA



Posebni simboli u električkim shemama



VOD NAPAJANJA
REFERENTNOG
POTENCIJALA (MASA)



VOD NAPAJANJA



SIGNALNI PRILAZ
(*module port*)



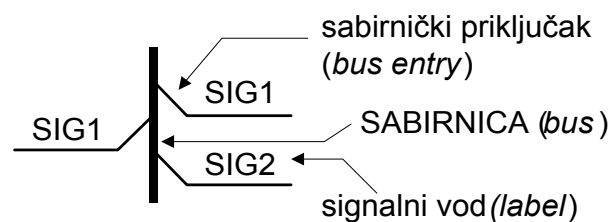
NERAZRJEŠIVI SPOJ



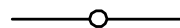
MEHANIČKI SPOJ



VOD UZEMLJENJA



SIGNALNI VOD
(*label*)



RAZRJEŠIVI SPOJ

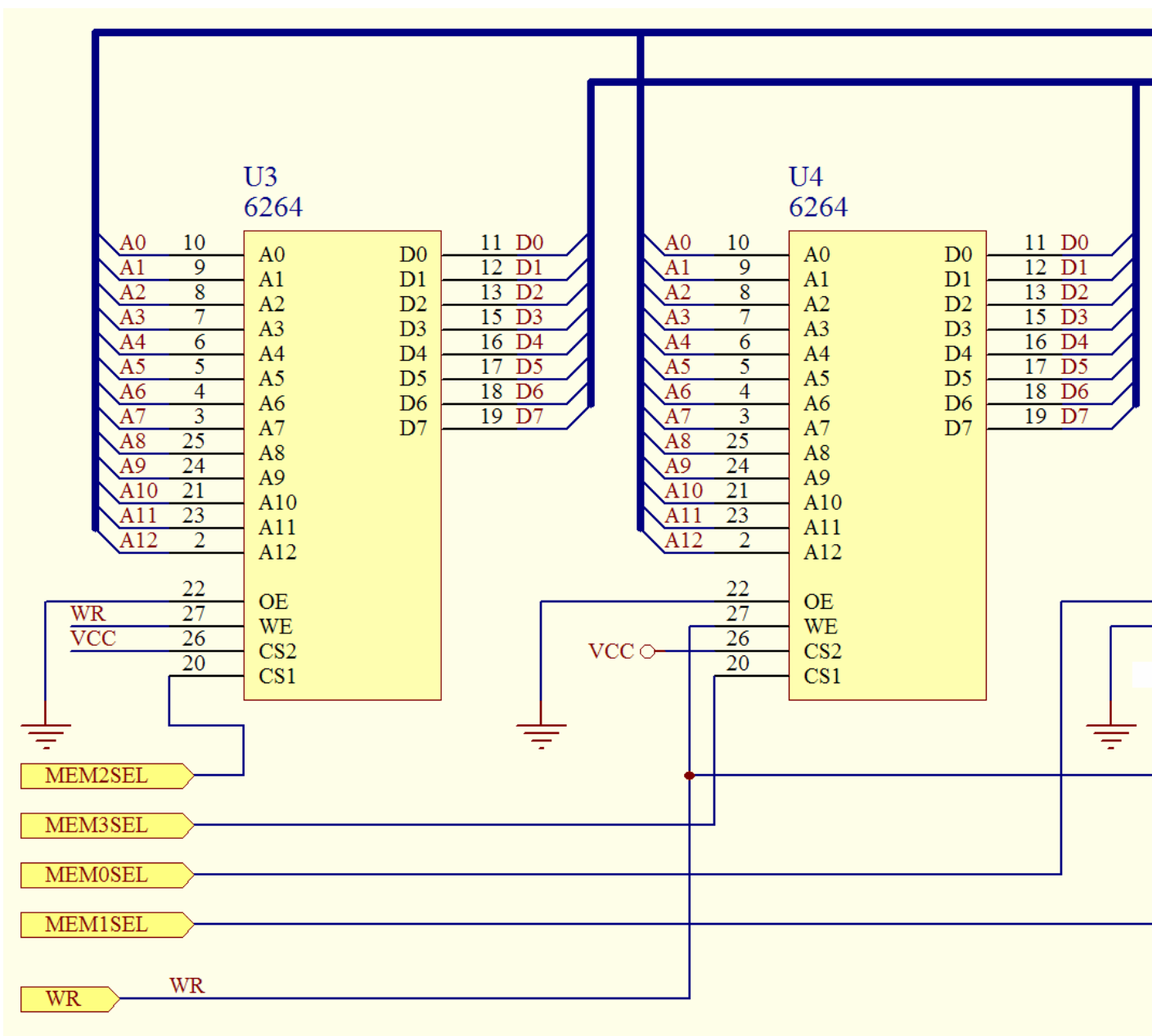


ELEKTROMAGNETSKI
SPOJ

Električka shema

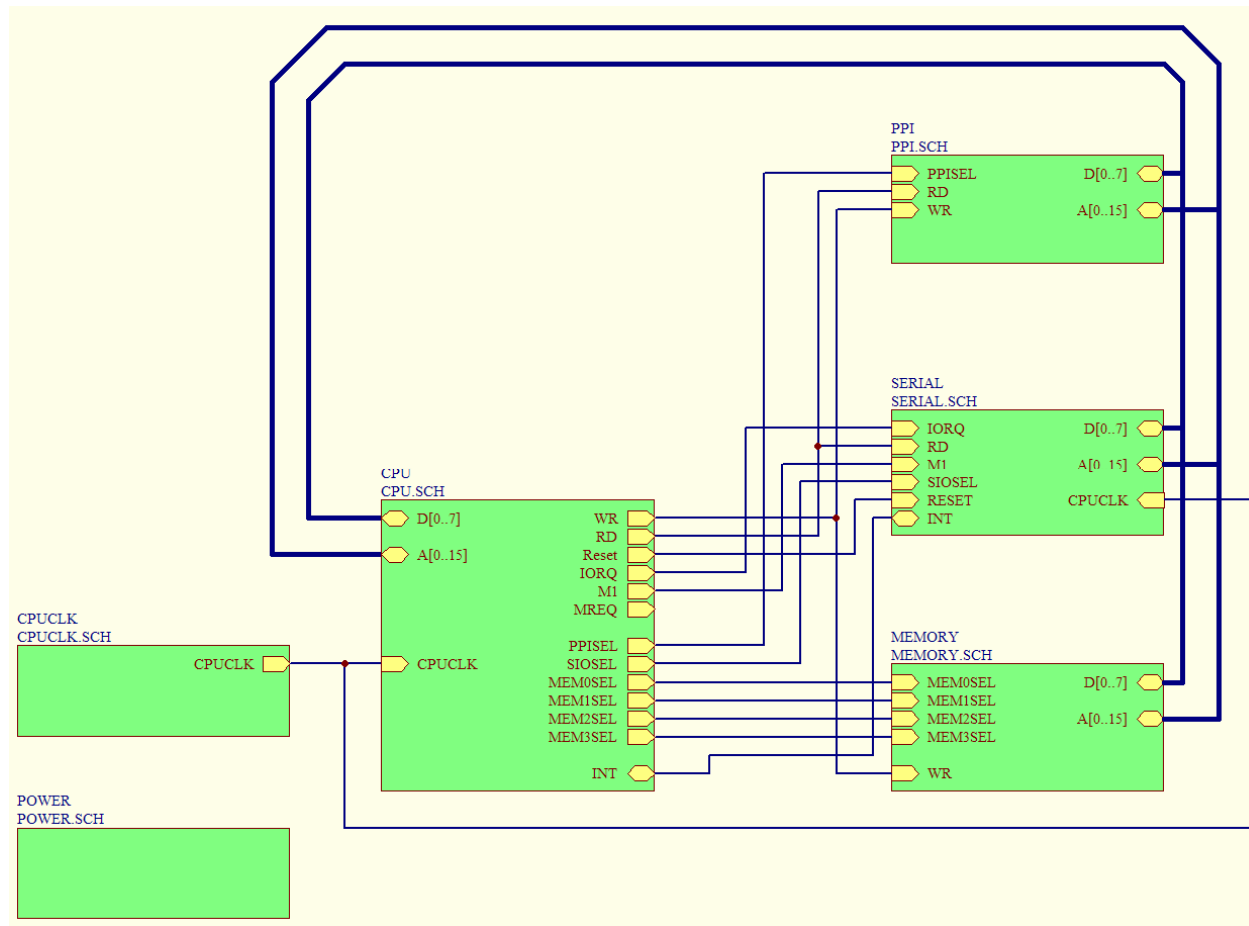
- električka shema mora biti **pregledna** i razumljiva na prvi pogled
- izbjegavati pretjerano dugačke signalne vodove i nepotrebna križanja među njima
- posebni simboli koji povećavaju preglednost električke sheme:
 - imenski povezane mreže (*net labels*)
 - mreže napajanja i uzemljenja (*power ports*)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

Povezivanje komponentata na električkoj shemi

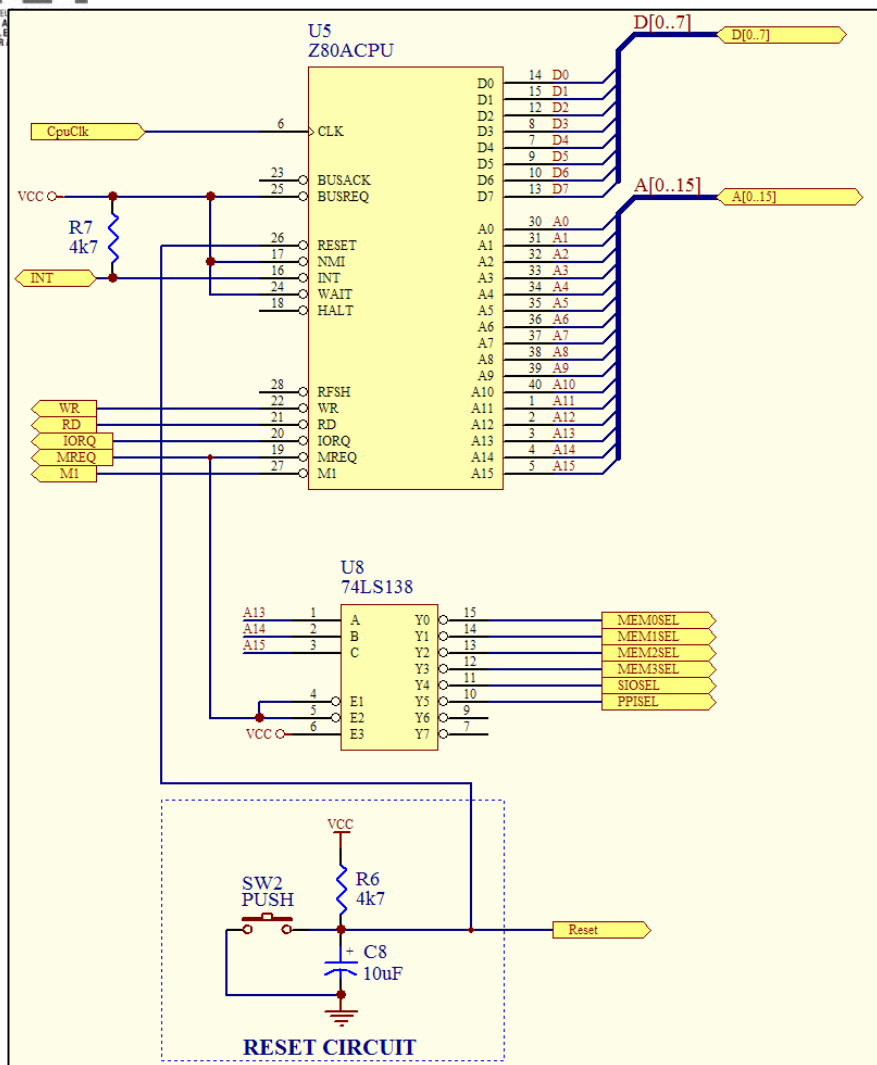


Hijerarhijske električke sheme

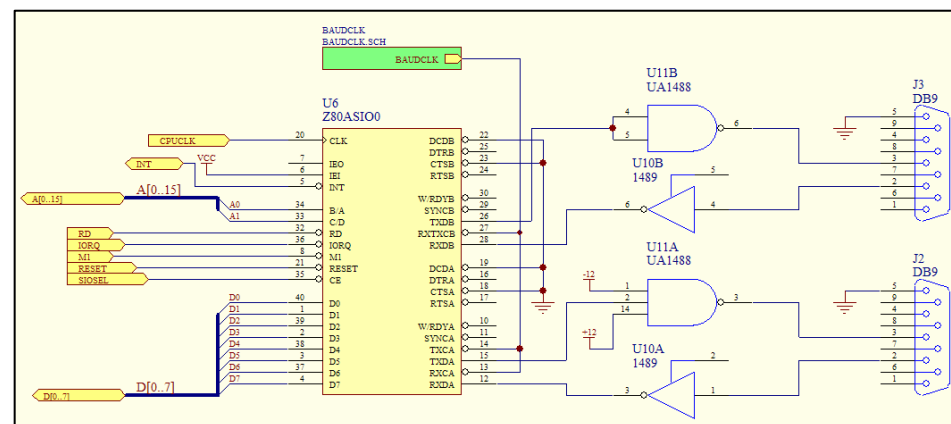
- povećanje preglednosti električke sheme podjelom na manje logičke cjeline



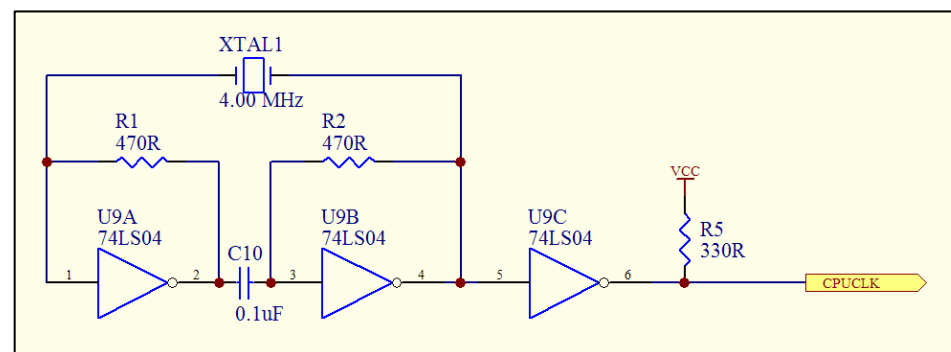
cjelokupna hijerarhija



CPU.sch



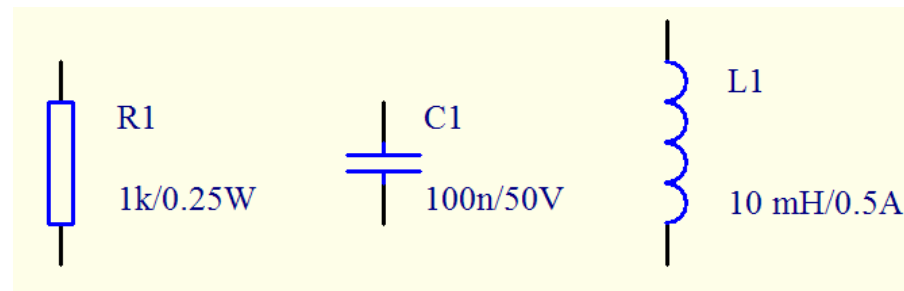
Serial.sch



CPUCLK.sch

Označavanje komponenata

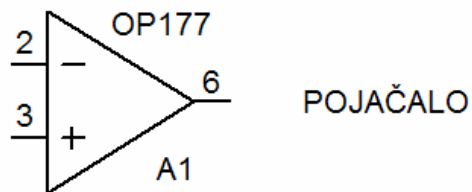
- navesti oznaku komponente (*Designator*) i nazivnu/svojstvenu vrijednost (*Comment*)
- primjeri označavanja pasivnih komponenata:



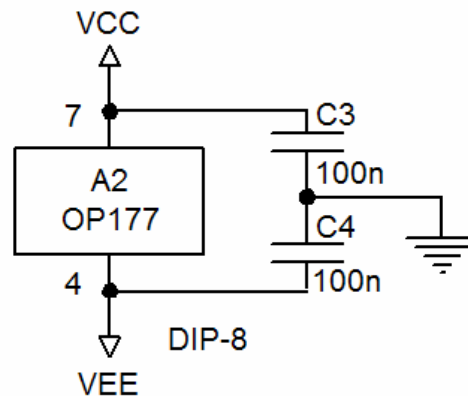
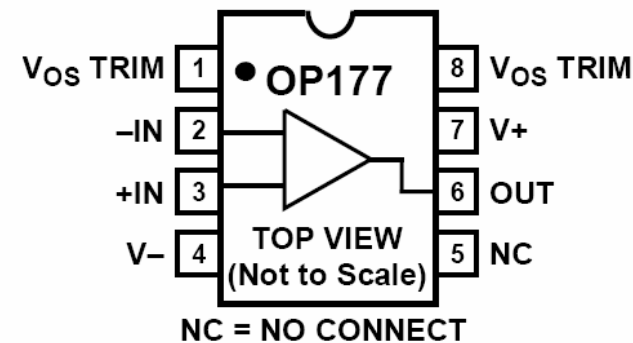
- za otpornike vrijedi:
 - umjesto 10 Ω , 1 k Ω , 2.7 k Ω , 10 M Ω na shemi se piše 10R (ili samo 10), 1k, 2k7 i 10M
- za kondenzatore vrijedi:
 - umjesto 10 pF, 100 nF, 10 μ F na shemi se piše 10p, 100n i 10u
- svojstvena veličina navodi se ako je bitna (npr. nazivna snaga ne navodi se za 0.25 W-tne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

Crtanje izvoda napajanja analognih i digitalnih sklopova

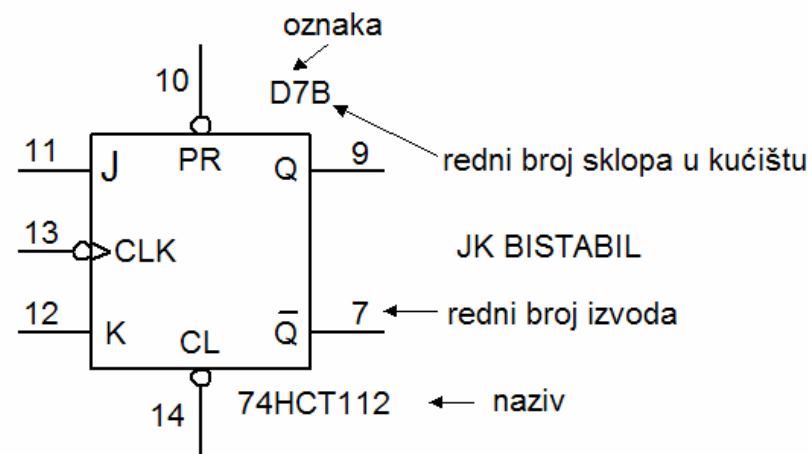
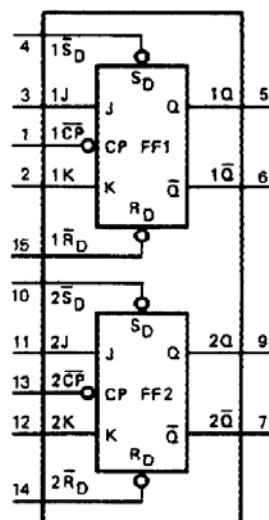
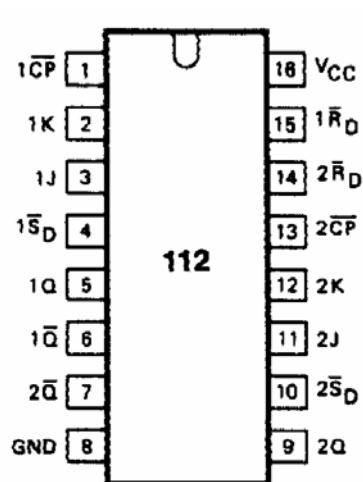
- izvodi napajanja analognih i digitalnih sklopova često se ne crtaju radi preglednosti (*hidden pins*)



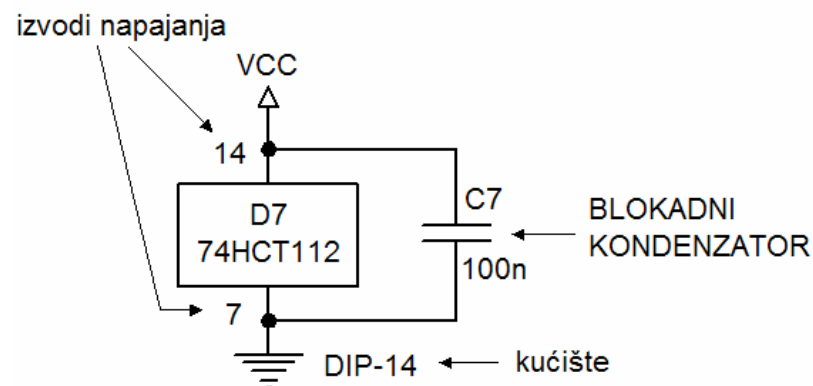
POJAČALO



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

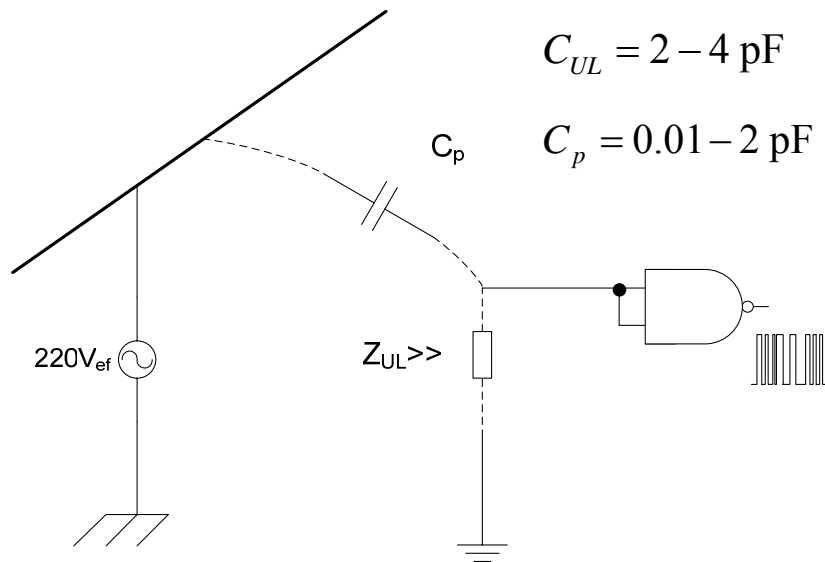
Zaključenje neiskorištenih ulaza - primjer

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

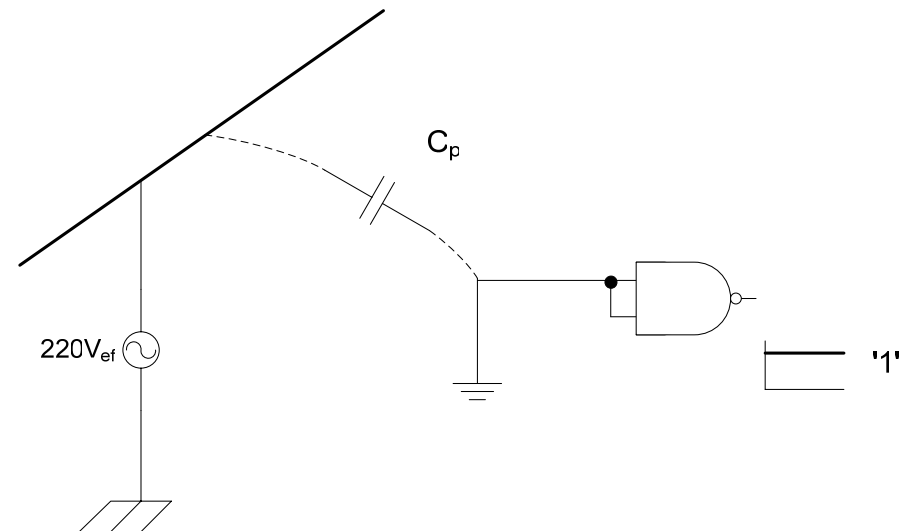
$$R_{UL} \sim 100 \text{ M}\Omega$$

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

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



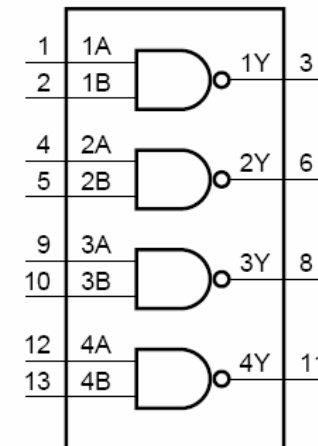
neispravno



ispravno

Neiskorišteni izvodi komponenata

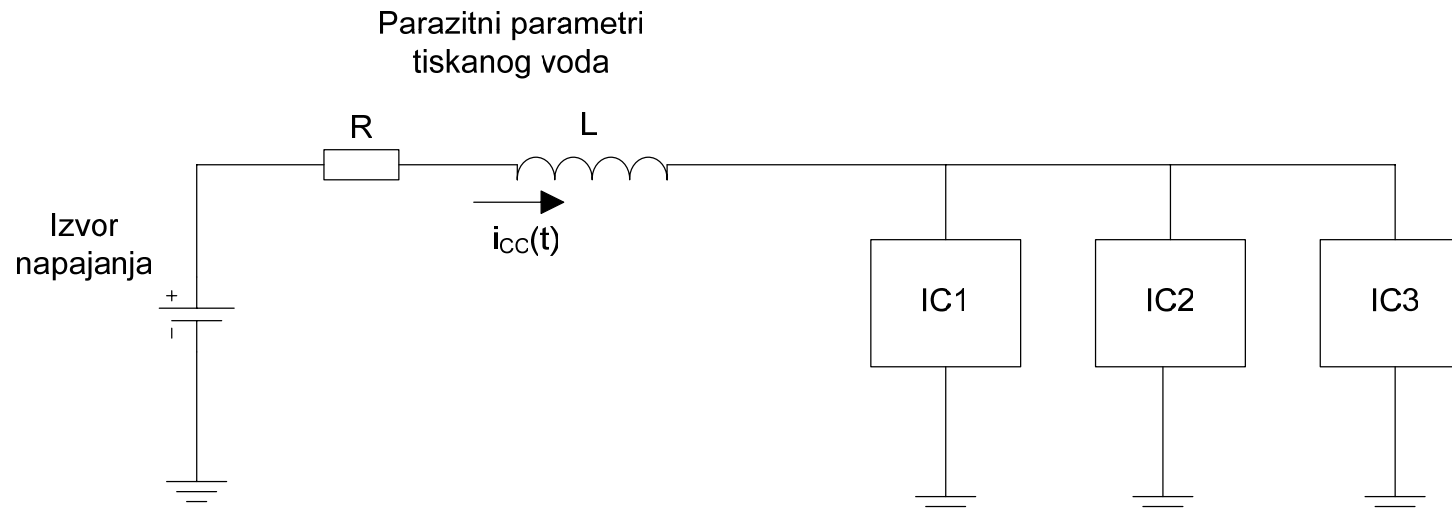
- *floating input pins* ERC error (ERC – *electrical rule check*)
- primjer: na električkoj shemi koriste se samo vrata {1A,1B} i {3A,3B}; logička vrata {2A,2B} i {4A,4B} također treba prikazati i eksplicitno spojiti ulaze na definirani potencijal
- nezaključeni ulazi ponašaju se kao *antene* za prijem 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

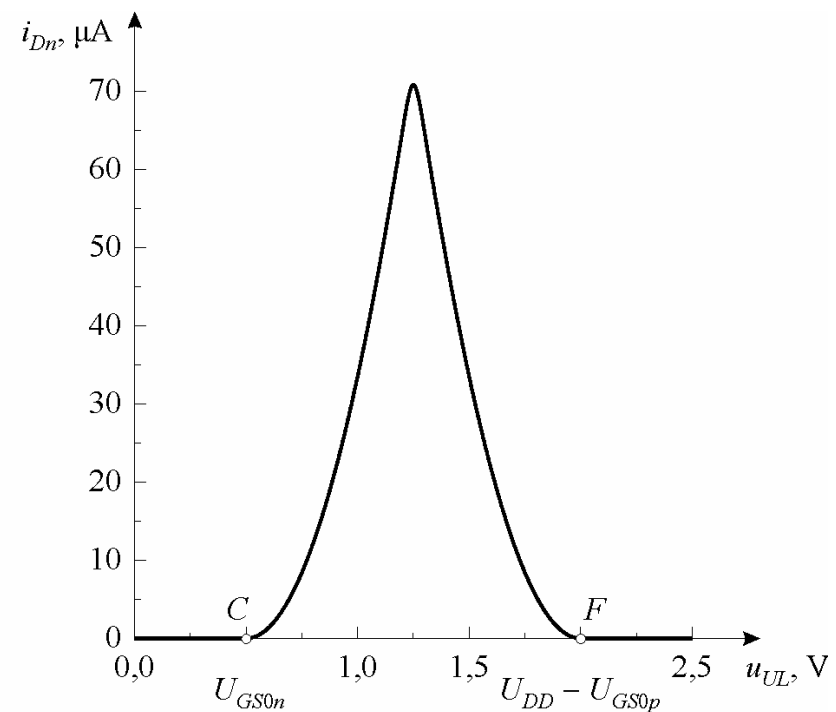
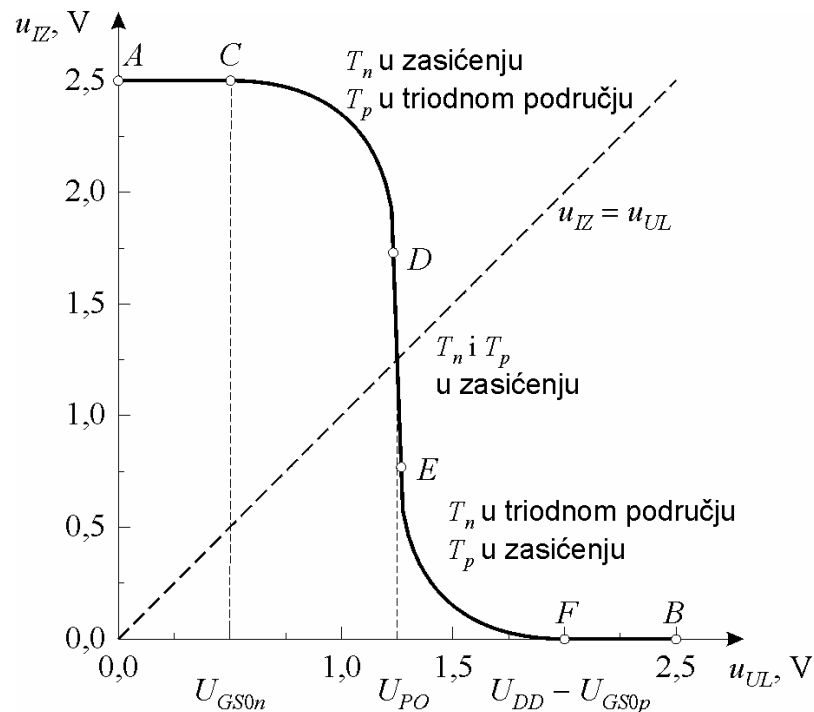
Blokadni kondenzatori

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



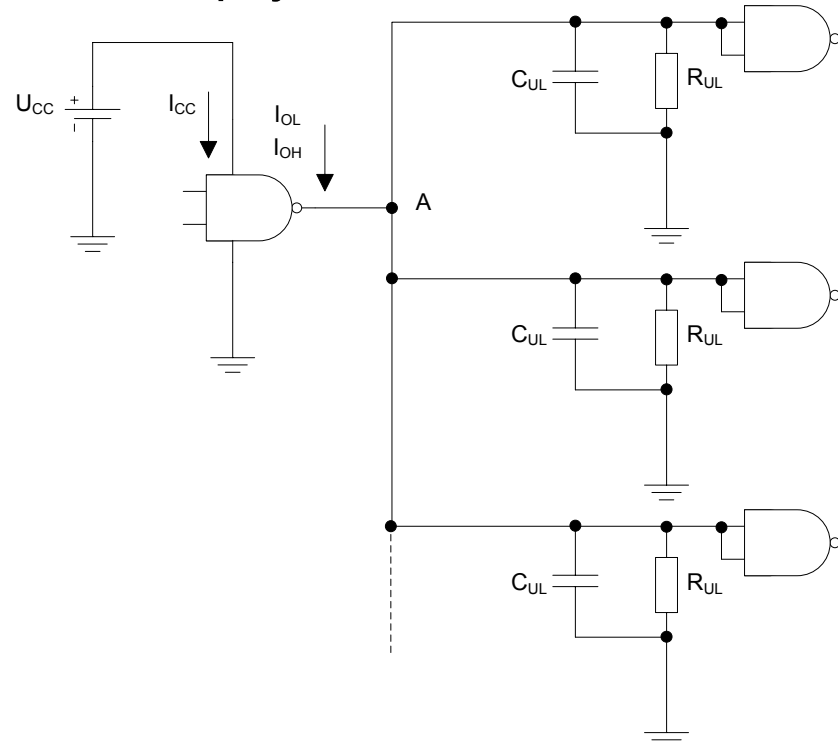
Blokadni kondenzatori

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



Blokadni kondenzatori

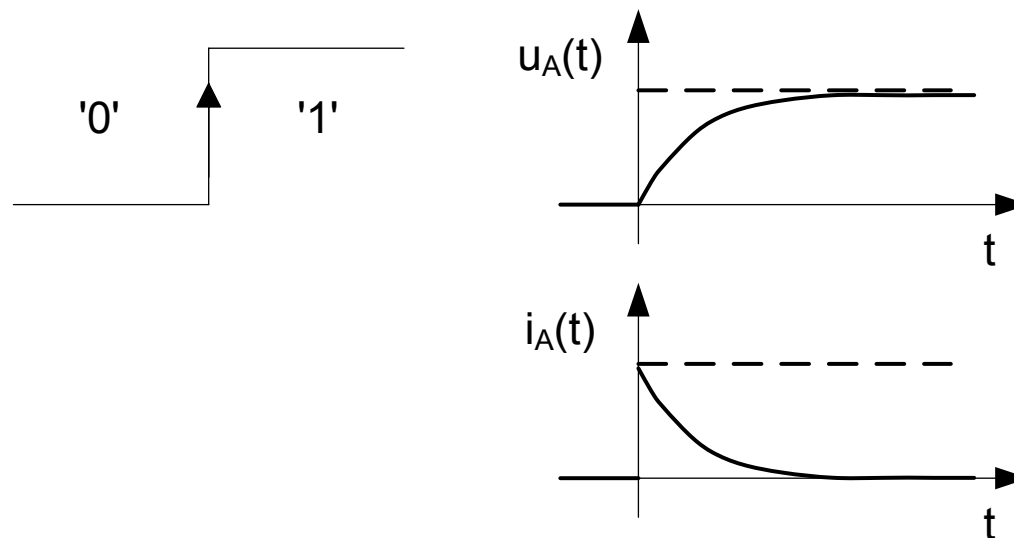
- u digitalnim sklopovima izlazi invertora kapacitivno su opterećeni ulazima sljedećih stupnjeva



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

Blokadni kondenzatori

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



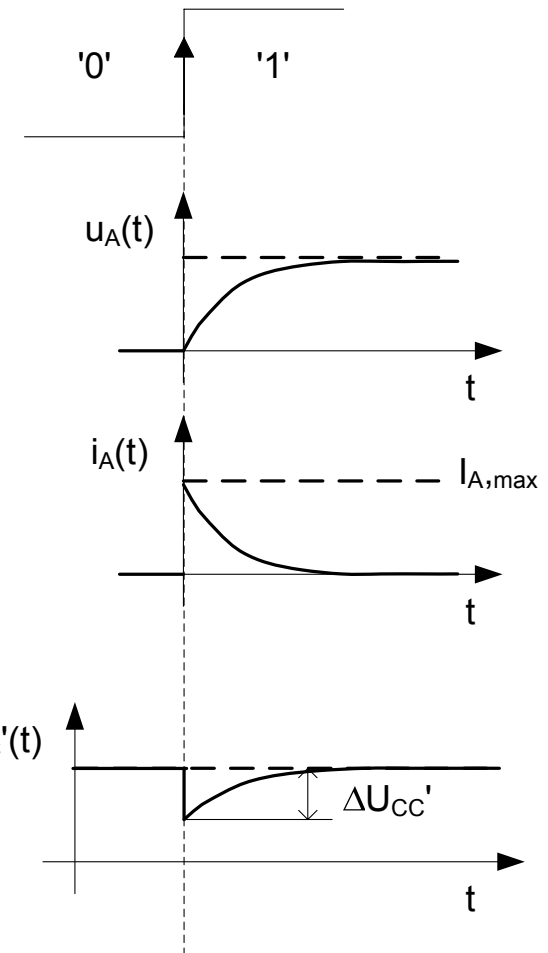
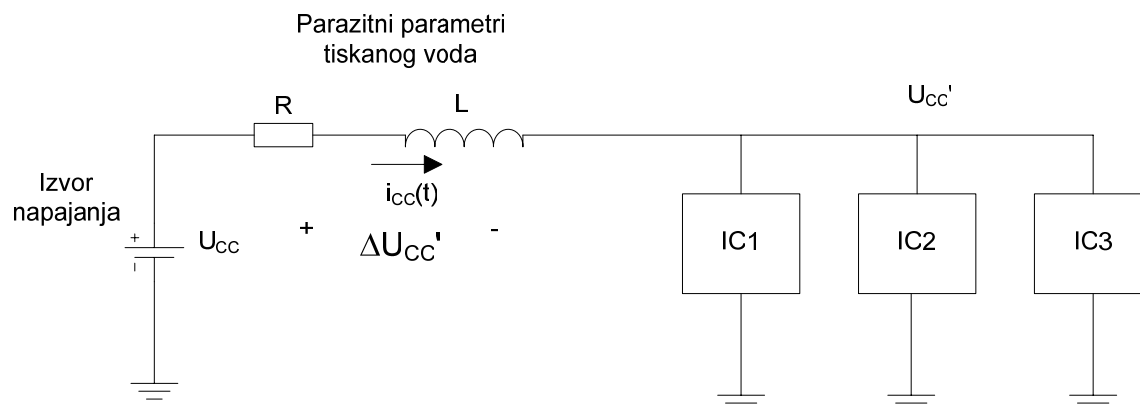
- ulazni kapacitet invertora je malenog iznosa (tipično $\sim pF$) – kratki strujni šiljak za nabijanje ili izbijanje kapaciteta C_{UL}

Blokadni kondenzatori

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

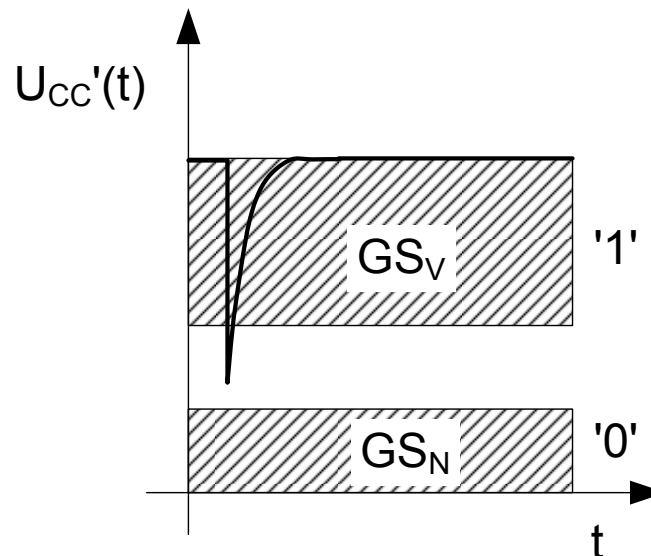
$$I_{A,max} = \frac{U_{cc}}{R_{iz}}, \quad R_{iz} \ll$$

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



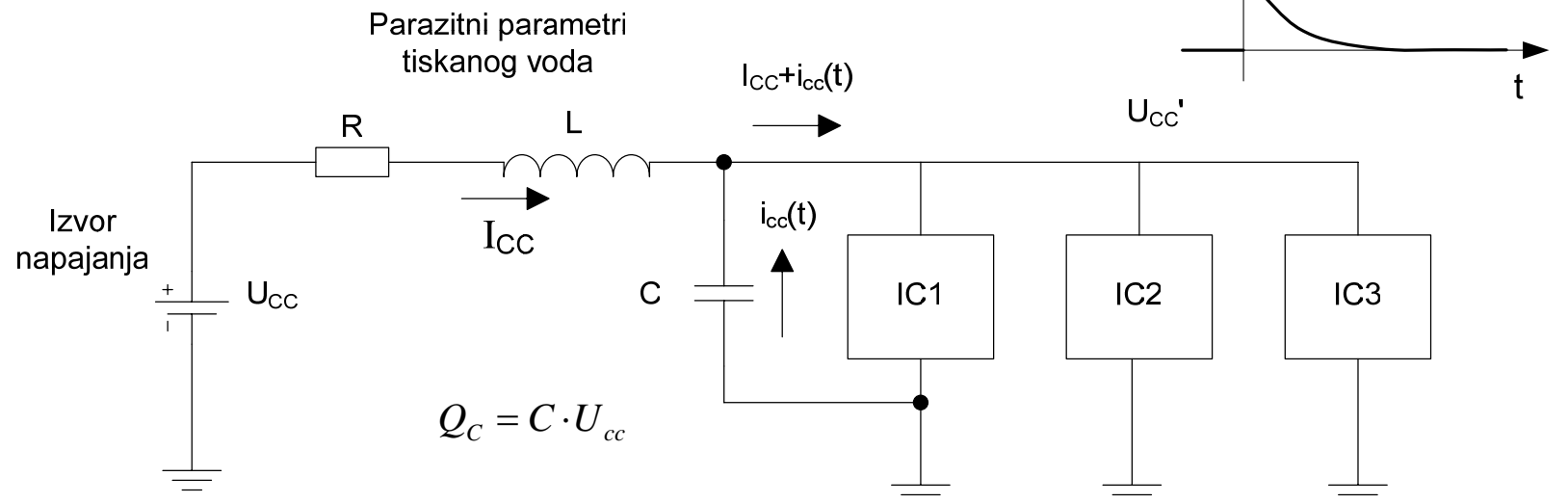
Blokadni kondenzatori

- 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 ($di/dt \gg$)
- induktivitet vodova između blokadnog kondenzatora i priključka napajanja je zanemariv



Blokadni kondenzatori

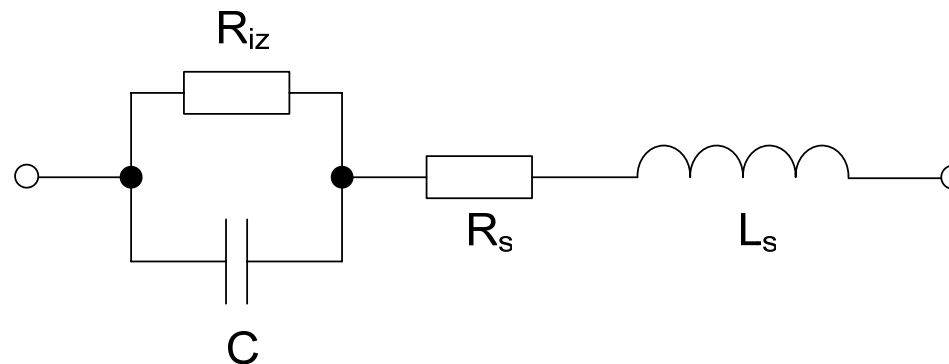
- osiguravaju zalihu naboja za brze strujne “šiljke”
- kako odabrati i postaviti blokadne kondenzatore?
- iskustveno pravilo:
 - na svaki IC postaviti jedan **keramički** kondenzator od 100 nF
 - na približno svakih 5 IC postaviti jedan **tantalov elektrolitski** kondenzator od 10 μ F
- na tiskanoj pločici blokadne kondenzatore postaviti **što bliže** integriranom sklopu
- vrlo važno: minimizirati **duljinu** vodljivih veza između kondenzatora i izvoda napajanja integriranog sklopa (minimizacija parazitnog induktiviteta \sim 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

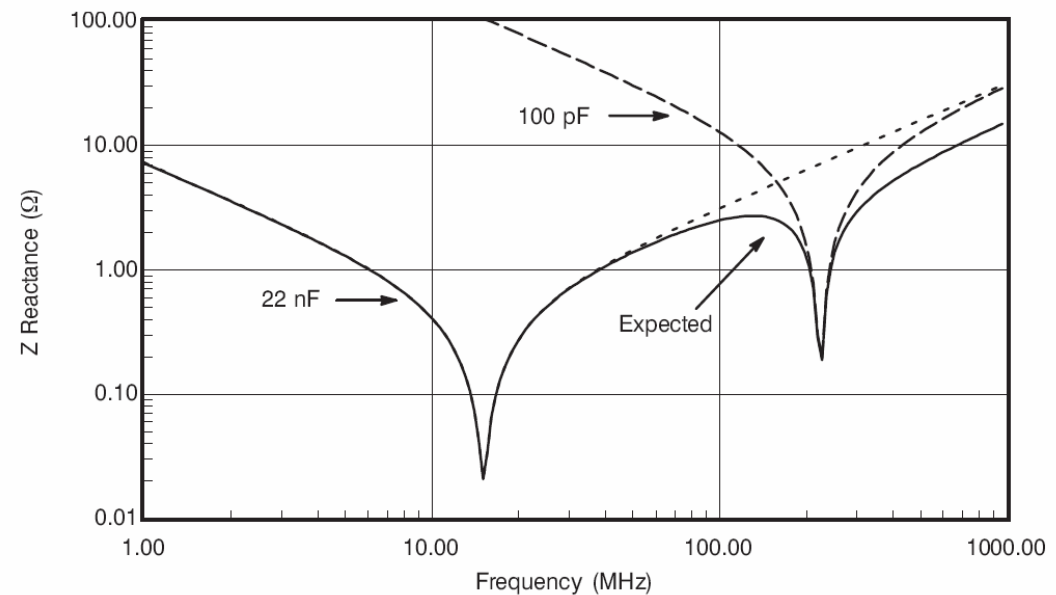
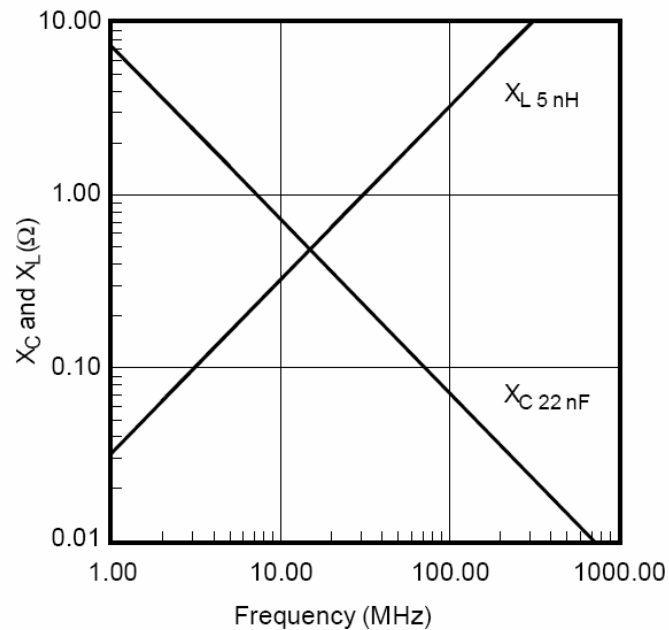
- koju vrstu kondenzatora odabrati?
- nadomjesna shema realnog kondenzatora:



- 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:

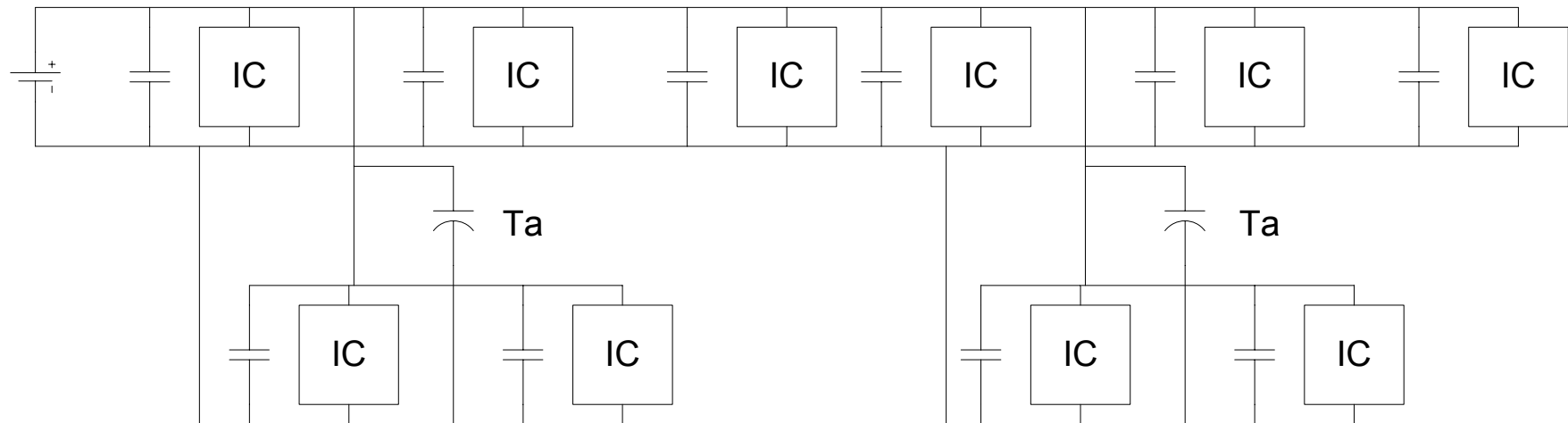


Blokadni kondenzatori

- 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

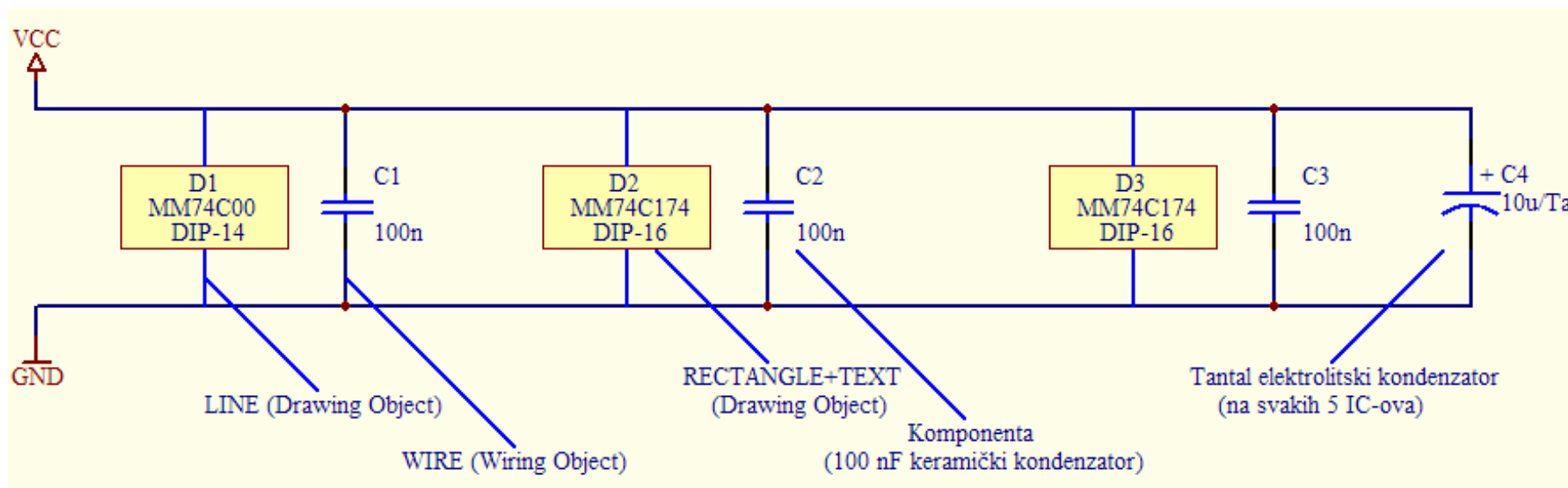
Blokadni kondenzatori

- 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

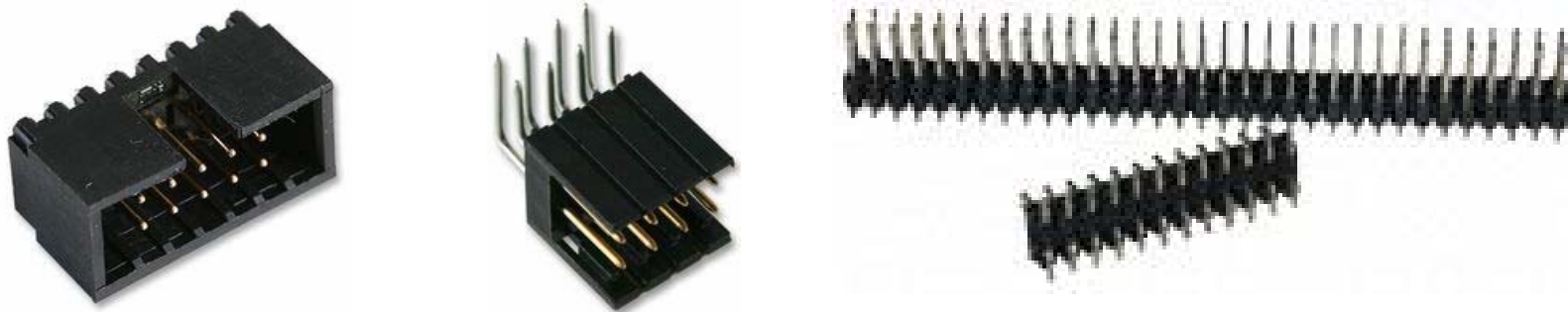
- drugačija problematika od blokade napajanja integriranih sklopova
- ako se napajanje na tiskanu pločicu dovodi iz vanjskog stabiliziranog izvora, uz konektor napajanja se u pravilu postavlja kondenzator koji služi za filtriranje valovitosti napona napajanja
- engl. *bulk capacitor* (kondenzatori za 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 aluminijske folije)
- 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 \pm 1%/100 mA/22 VA
 - navesti osigurač, ako postoji
 - istosmjerno:
 - 24 VDC \pm 20%/50 mA
 - stabilizirano ili ne
 - simetrično ili ne (\pm 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:

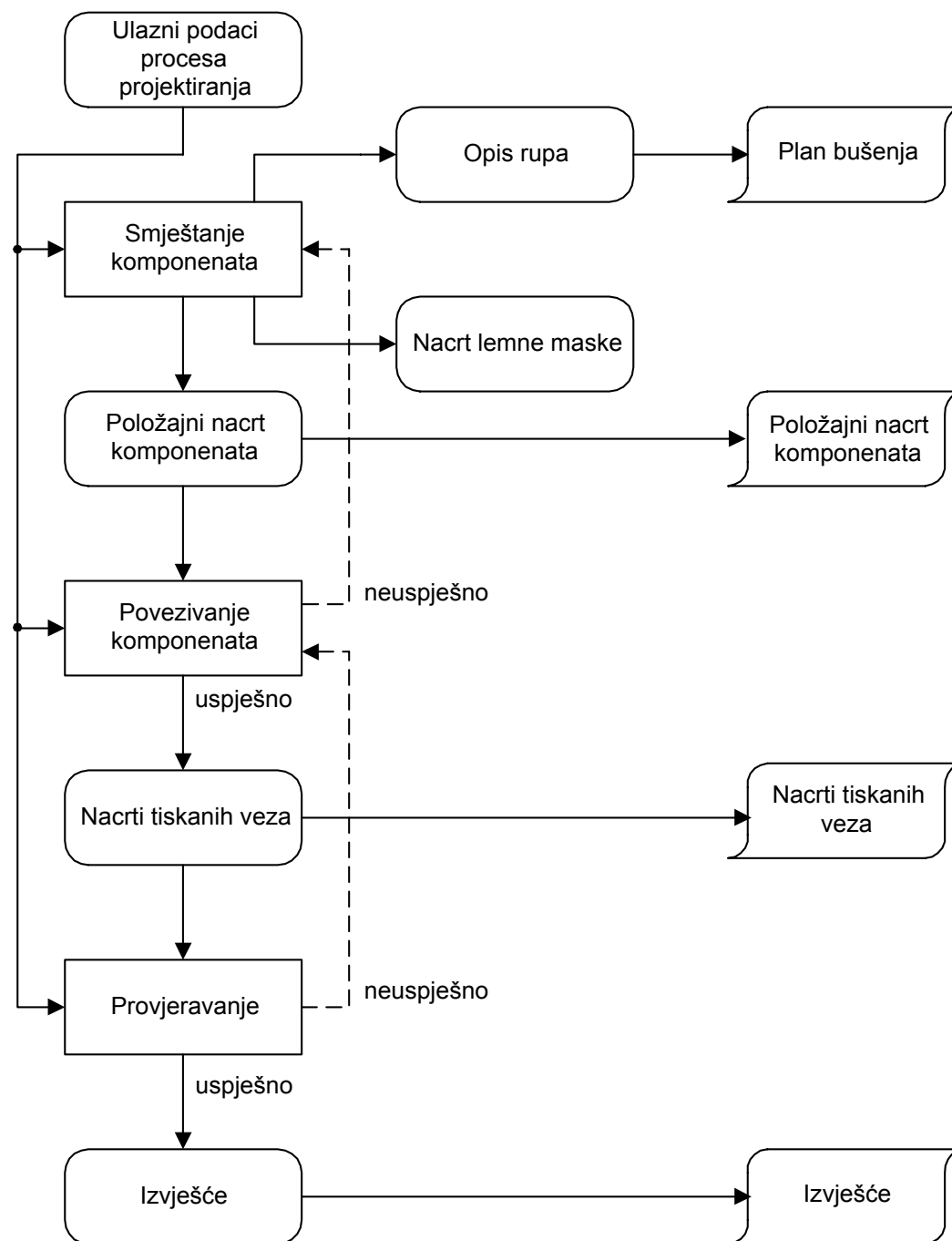
Redni broj	Oznake komponenata	Opis komponente	Kućiče	Proizvođač	Katalog dobavljača	Kataloški broj	Količina
1	D1, D2	74HCT244 osmerostruko sabirničko odvojno pojačalo	DIP-20	-	Farnell	382267	2
2	V1, V7-V10, V13	NPN tranzistor BC546B	TO-92	-	Farnell	1467868	6
3	R4	Kovinoslojni otpornik, 22k/0.25W,1%	AXIAL0.4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

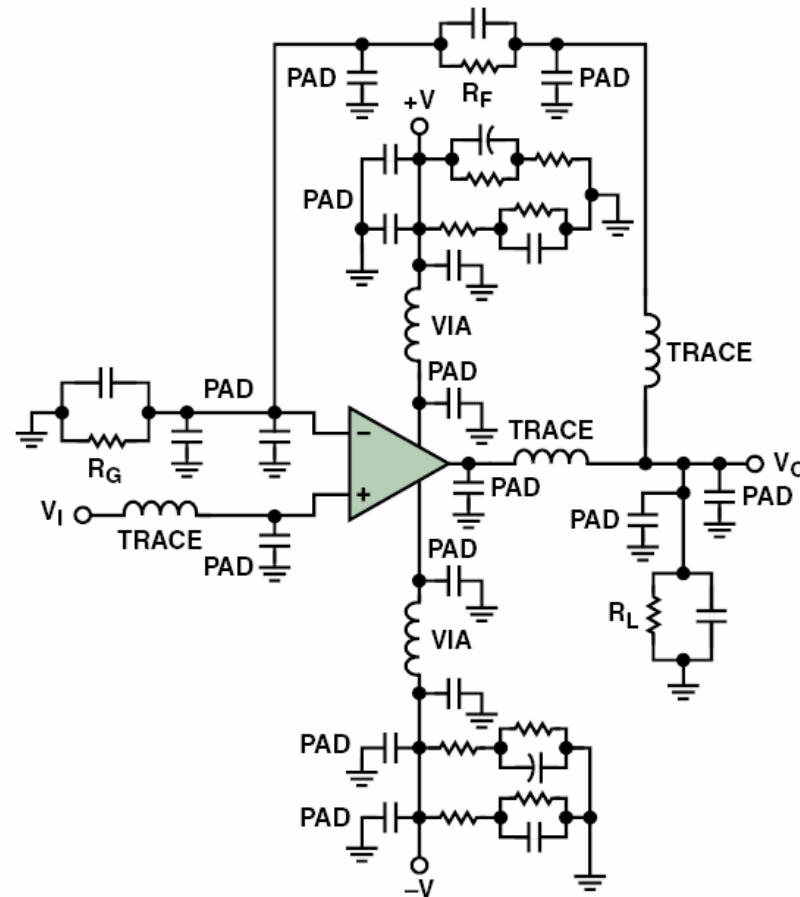
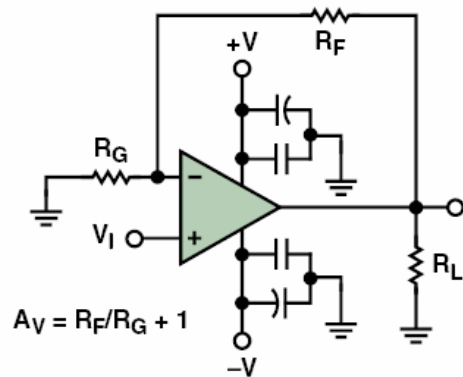
Projektiranje tiskanih veza

Projektiranje tiskanih veza

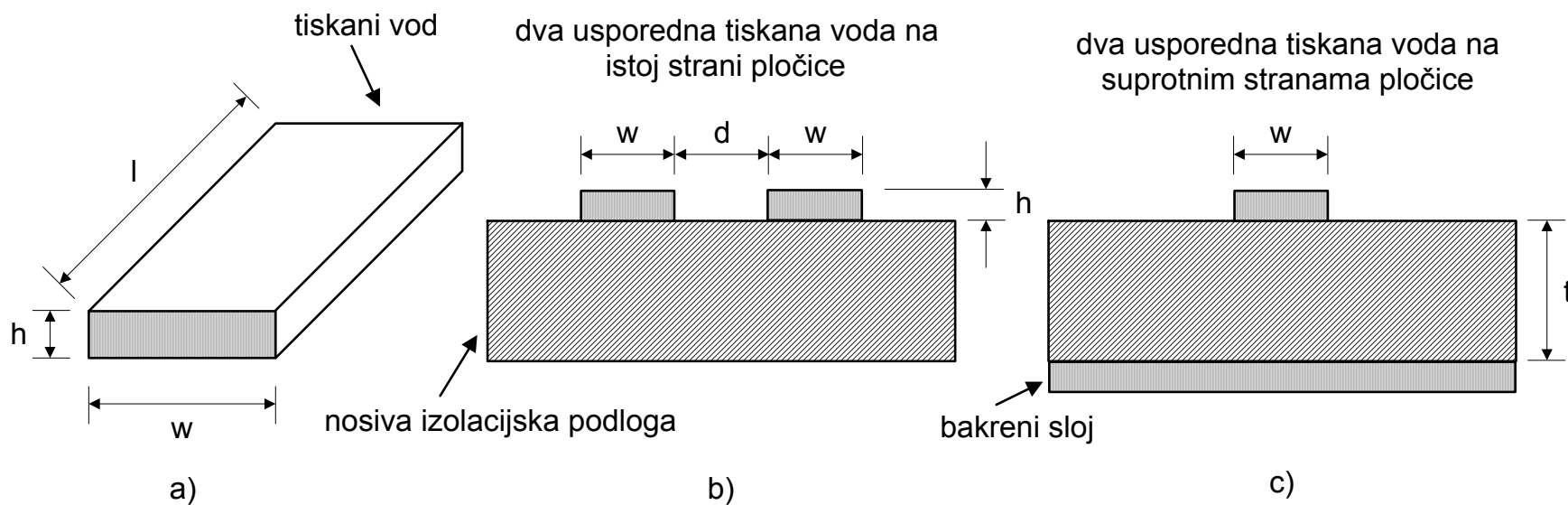
- završni dio procesa električkog, mehaničkog i toplinskog projektiranja sklopovlja jedne zasebne cjeline elektroničkog uređaja
- položajni nacrt komponenata, nacrt(i) tiskanih veza i plan bušenja izlazni su rezultati postupka projektiranja tiskanih veza
- električko i mehaničko povezivanje elektroničkih 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**



Parazitni električki parametri tiskanih vodova



Parazitni električki parametri tiskanih vodova



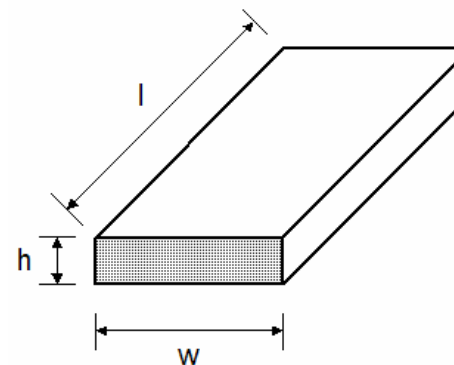
Električki otpor tiskanih veza

- tiskani vodovi imaju konačni otpor
- primjer:

$T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\rho_{\text{Cu}} = 1.724 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$, $h = 38\text{ }\mu\text{m}$,
 $l = 100\text{ mm}$, $w = 1\text{ mm}$, $S = 0.038\text{ mm}^2$

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:

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

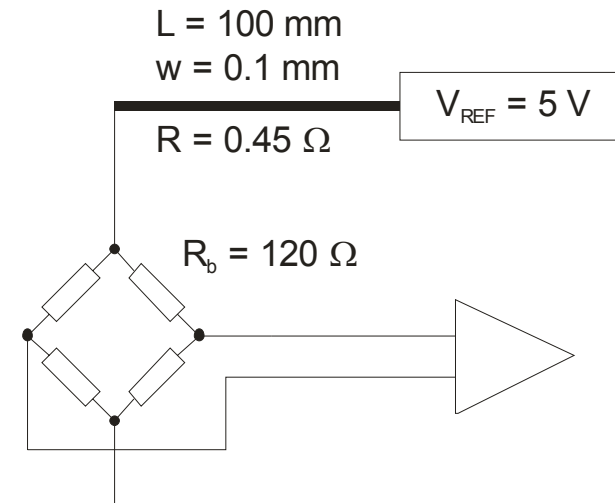
- pad napona na tiskanom vođu:

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

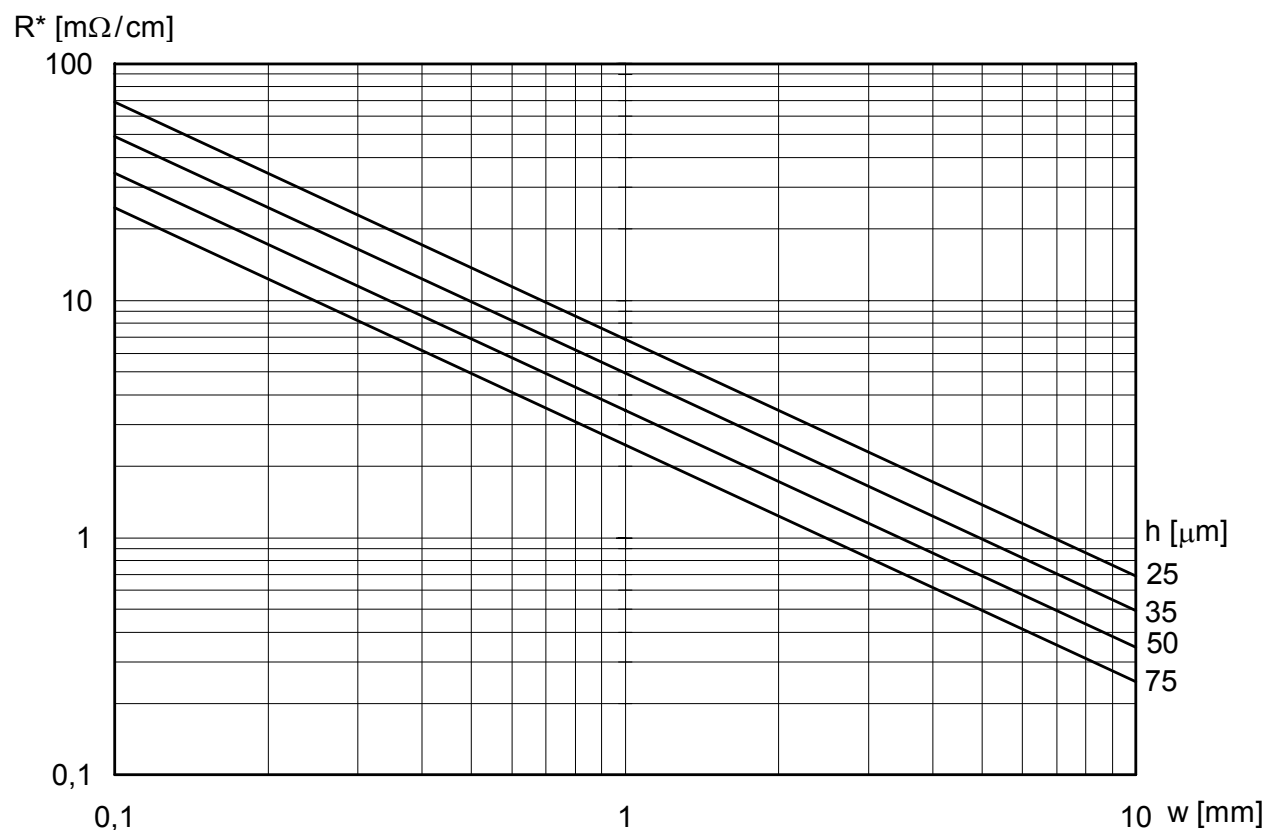
- ΔU će uzrokovati postotnu pogrešku mjerenja naprežanja:

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

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

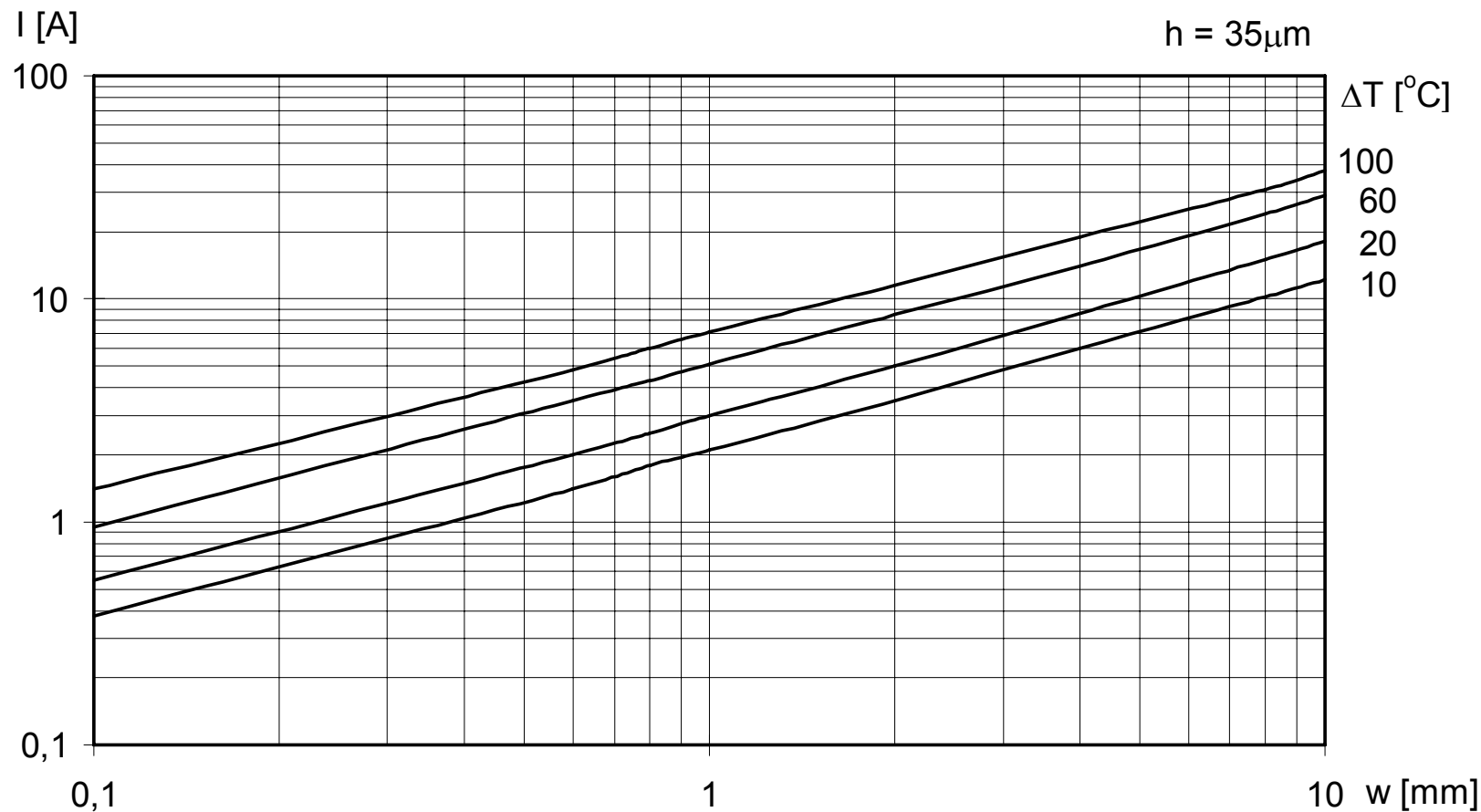
Zagrijavanje tiskanih vodova

- 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: $\delta_{Cu} \approx 66 / f^{\frac{1}{2}} \text{ mm}$

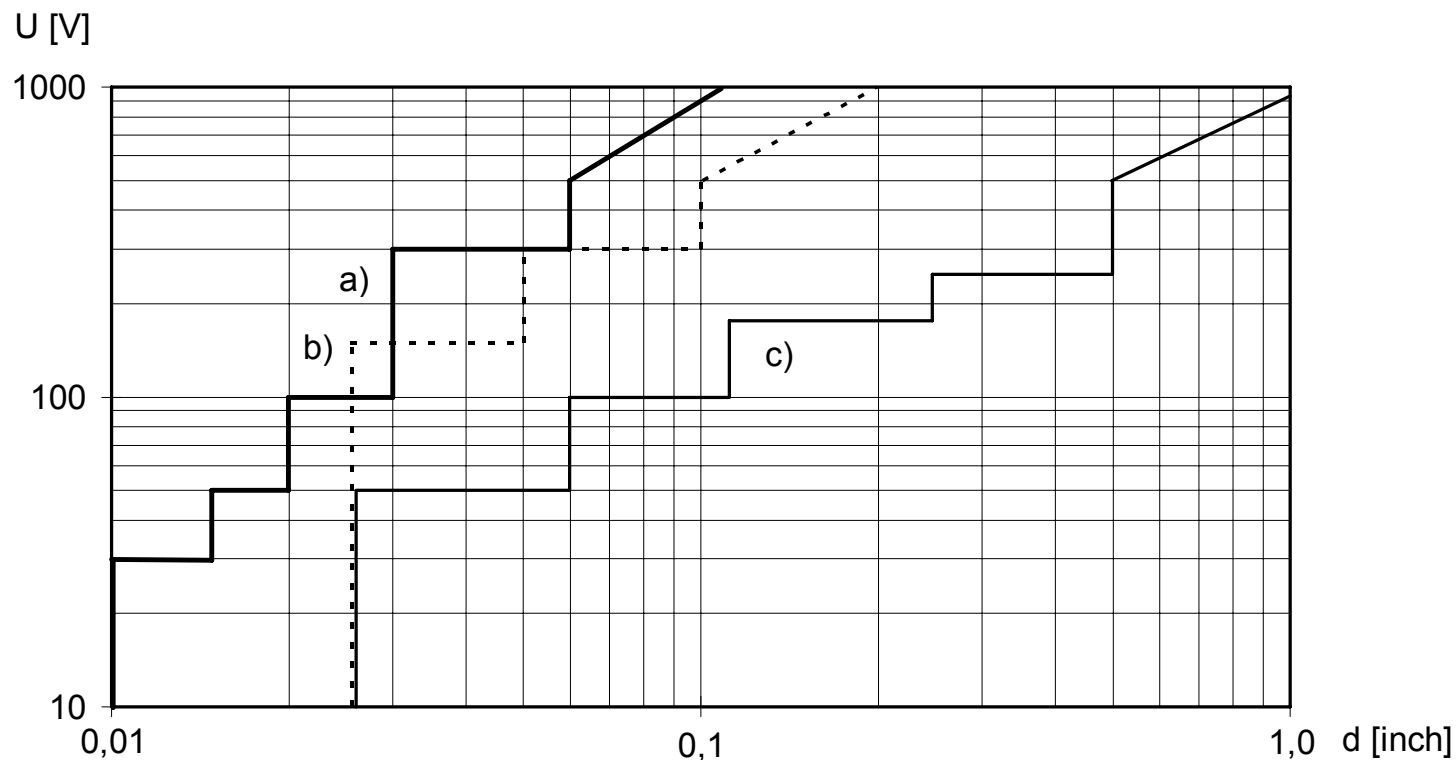
(oko 0.066 mm za 1 MHz, odnosno 0.020 mm za 10 MHz)

(za 10 MHz za vodljivi lik $h = 35 \text{ }\mu\text{m}$ efektivni presjek 2x manji i otpor 2x veći)

Izolacijski razmaci

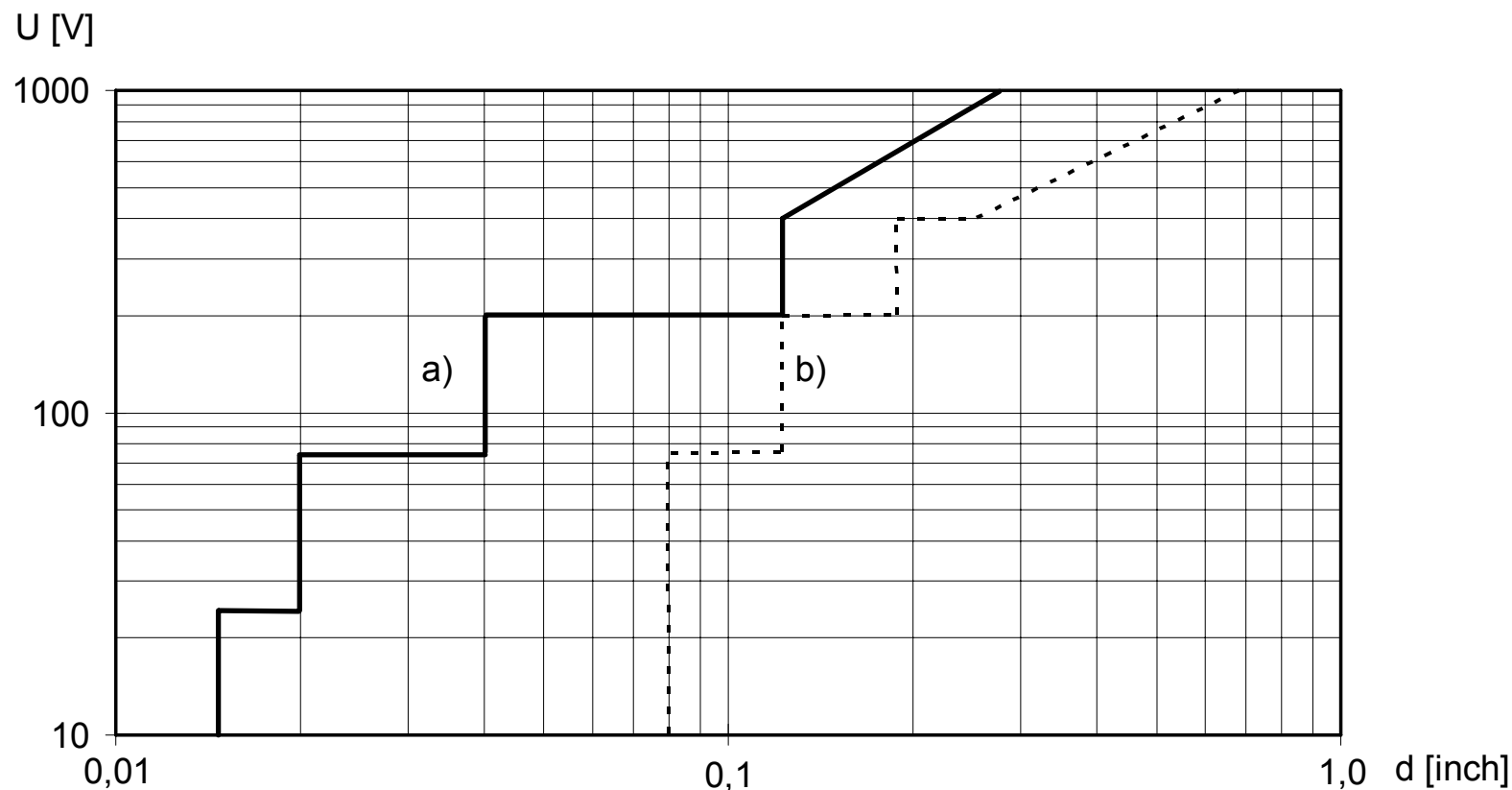
- najmanji dopušteni razmak d između dvaju električki odvojenih elemenata vodljivih likova funkcija je dielektričke čvrstoće izolacijskog sloja između njih
- dielektrička čvrstoća ovisi o:
 - tehnologiji (primjeni zaštitnog laka, dielektričkoj čvrstoći i debljini tiskane pločice, masama za zaštitu od 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



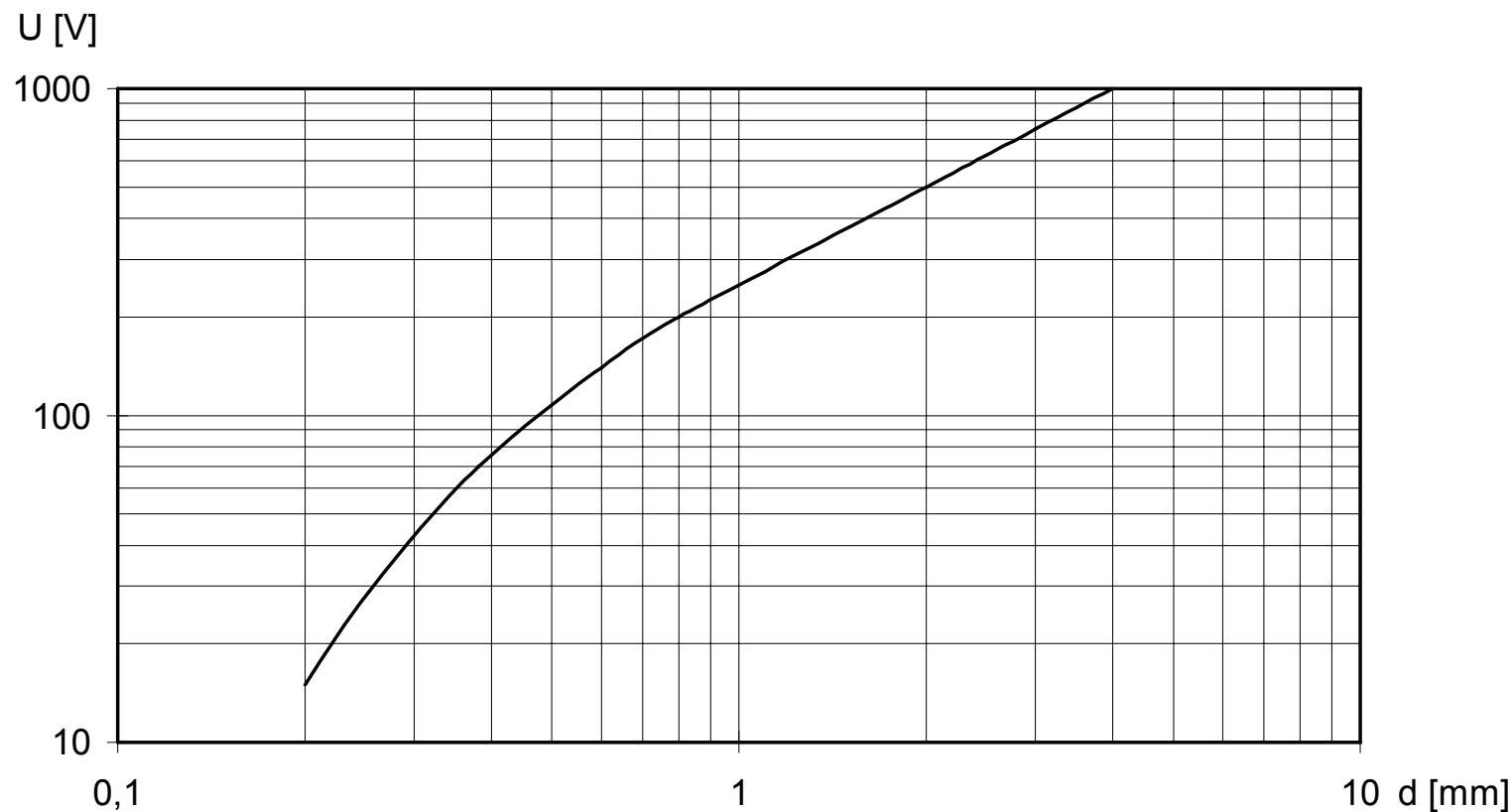
Potrebni razmak d između električki odvojenih elemenata vodljivih likova u ovisnosti o naponu U (podrazumijeva se vršna vrijednost ako je napon vremenski promjenjiv) između njih u laboratorijskim uvjetima po MIL-STD-275C za **a)** pločicu sa zaštitnim lakom, **b)** pločicu bez zaštitnog laka do 3000m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

Izolacijski razmaci



Potrební 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

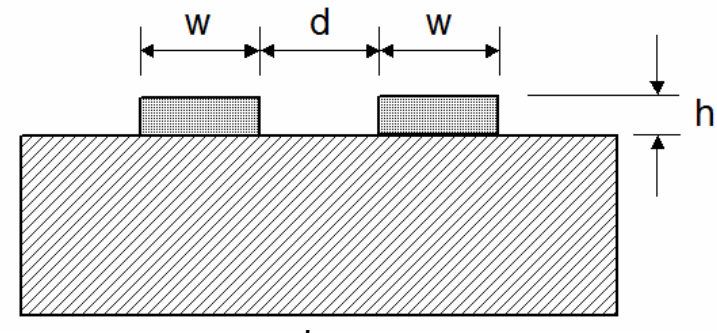
Kapacitet tiskanih veza

- 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:

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

$$C^* \text{ [pF / cm] ; } l \text{ [cm] ; } d, w \text{ [mm] ; } h \text{ [}\mu\text{m]}$$

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

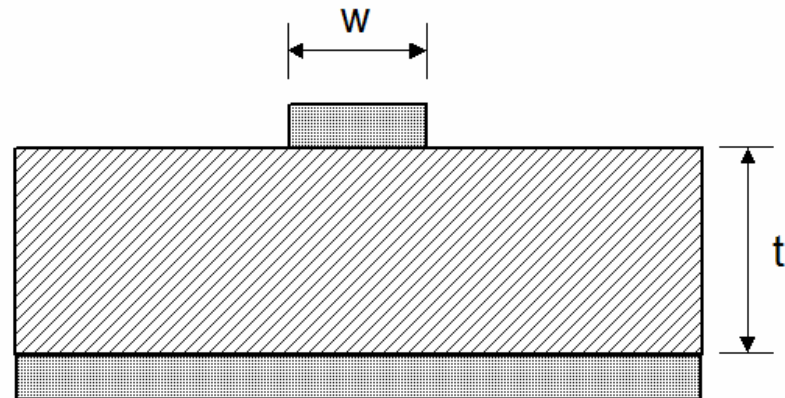


Kapacitet tiskanih veza

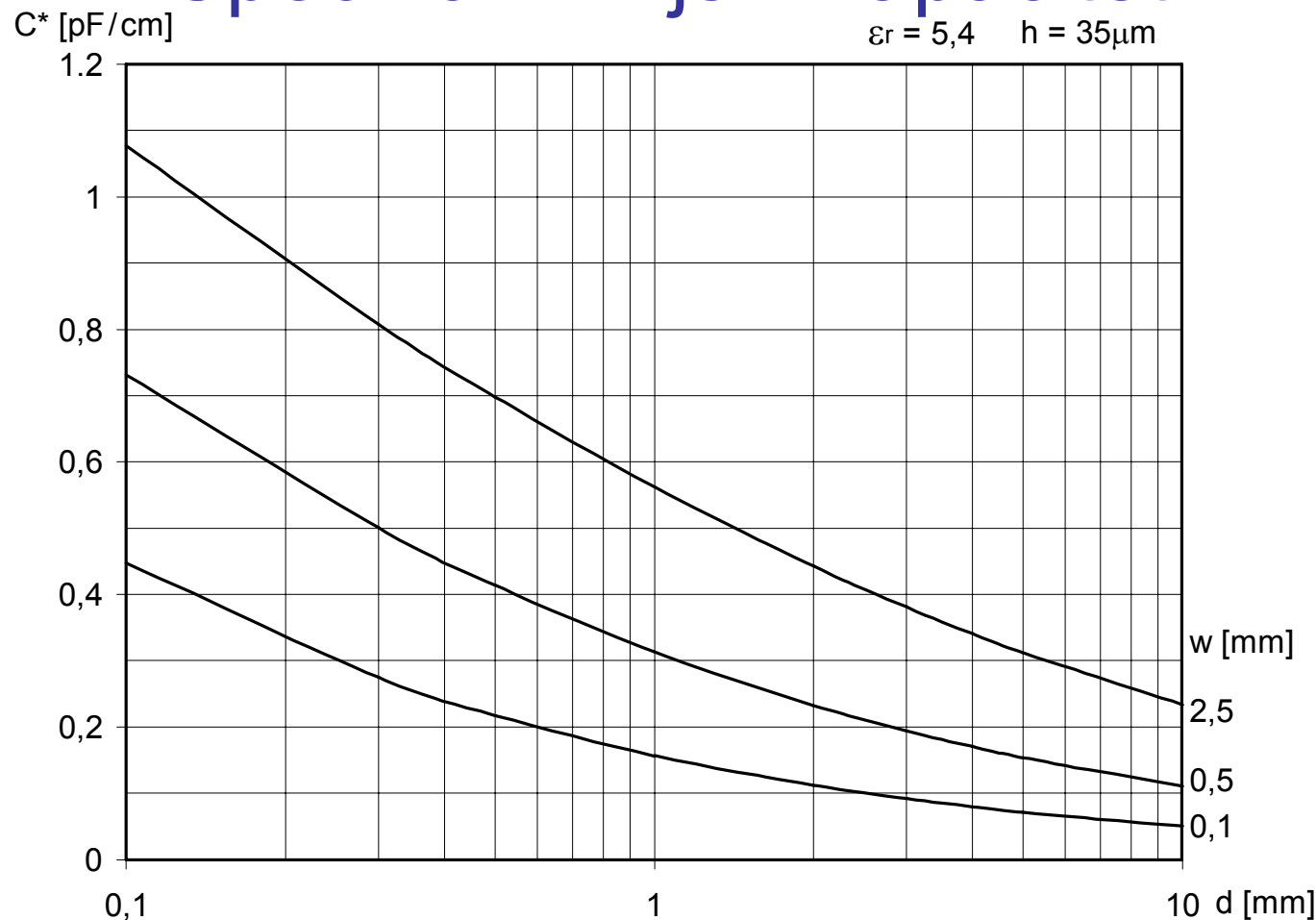
- kapacitet ravnog tiskanog voda prema bakrenom sloju na suprotnoj strani tiskane pločice:

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

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

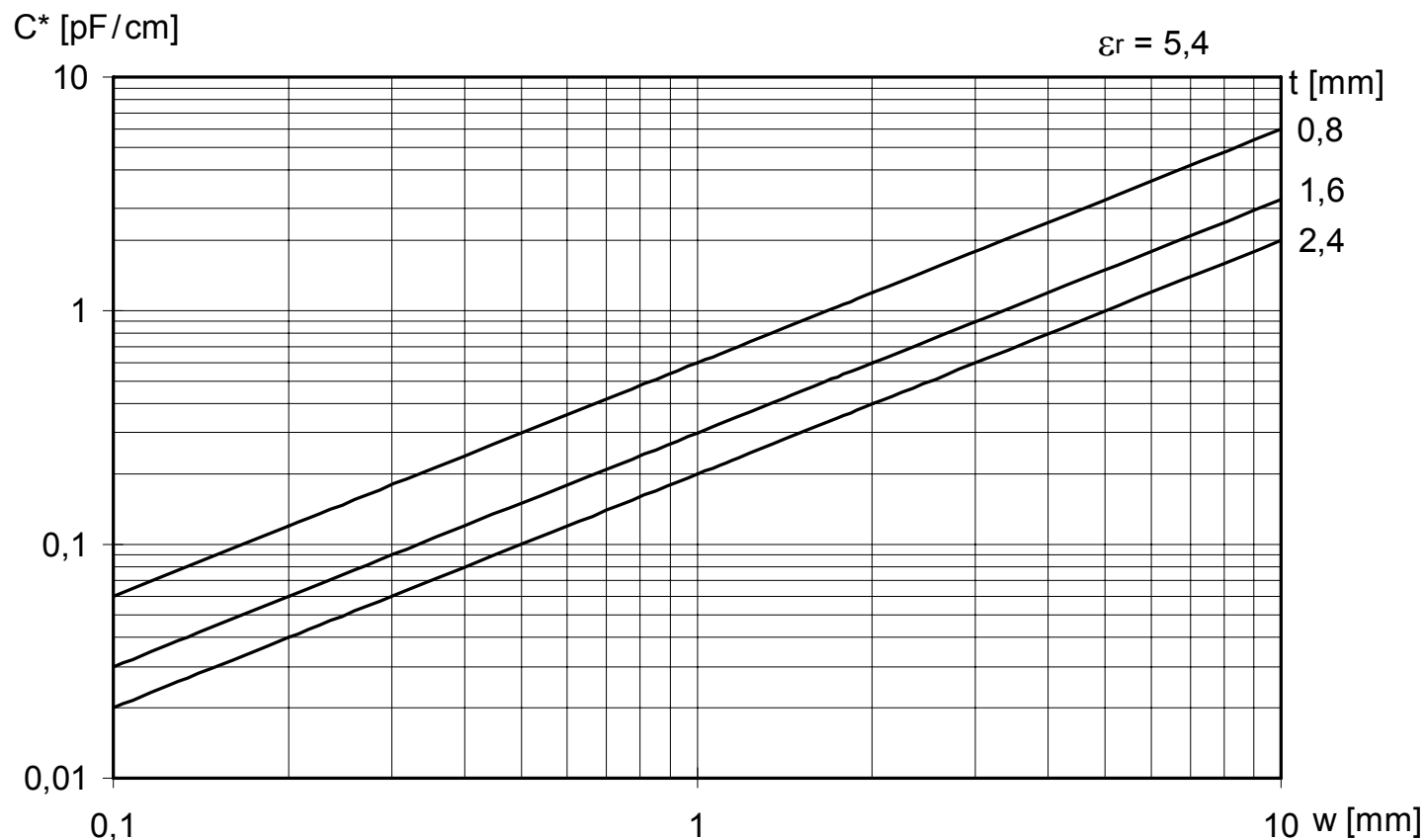


Specifični linijski kapacitet



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 ϵ_r

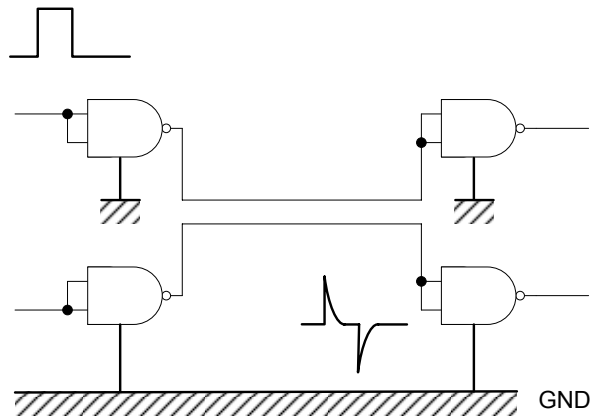
Specifični linijski kapacitet



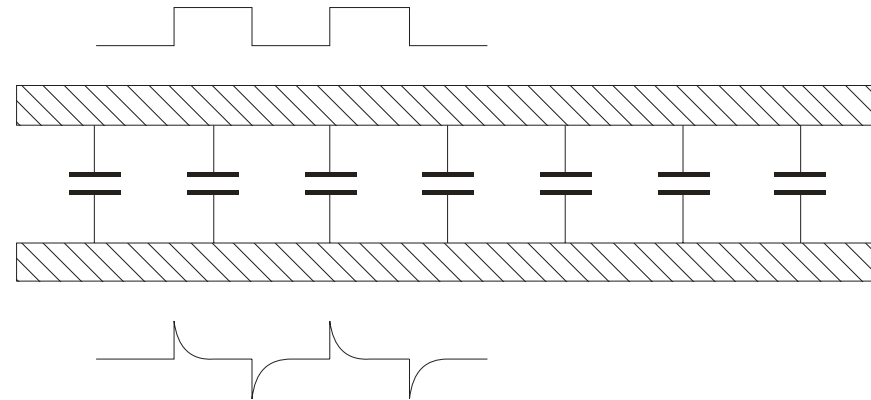
Ovisnost specifičnog linijskog kapaciteta C^* ravnog tiskanog voda prema bakrenom sloju na suprotnoj strani tiskane pločice o njegovoj širini w i debljini t nosive podloge relativne dielektričke konstante ϵ_r

Problem preslušavanja (*crosstalk*)

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



električka shema



tiskana pločica

Problem preslušavanja

- pojednostavljena analiza:

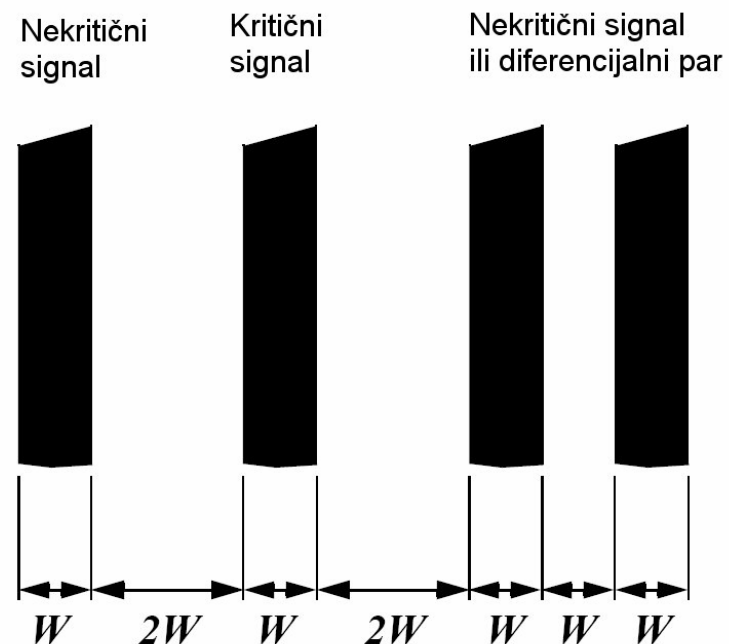
$$\Delta U = R \cdot i_c = R \cdot C \frac{du(t)}{dt}$$

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

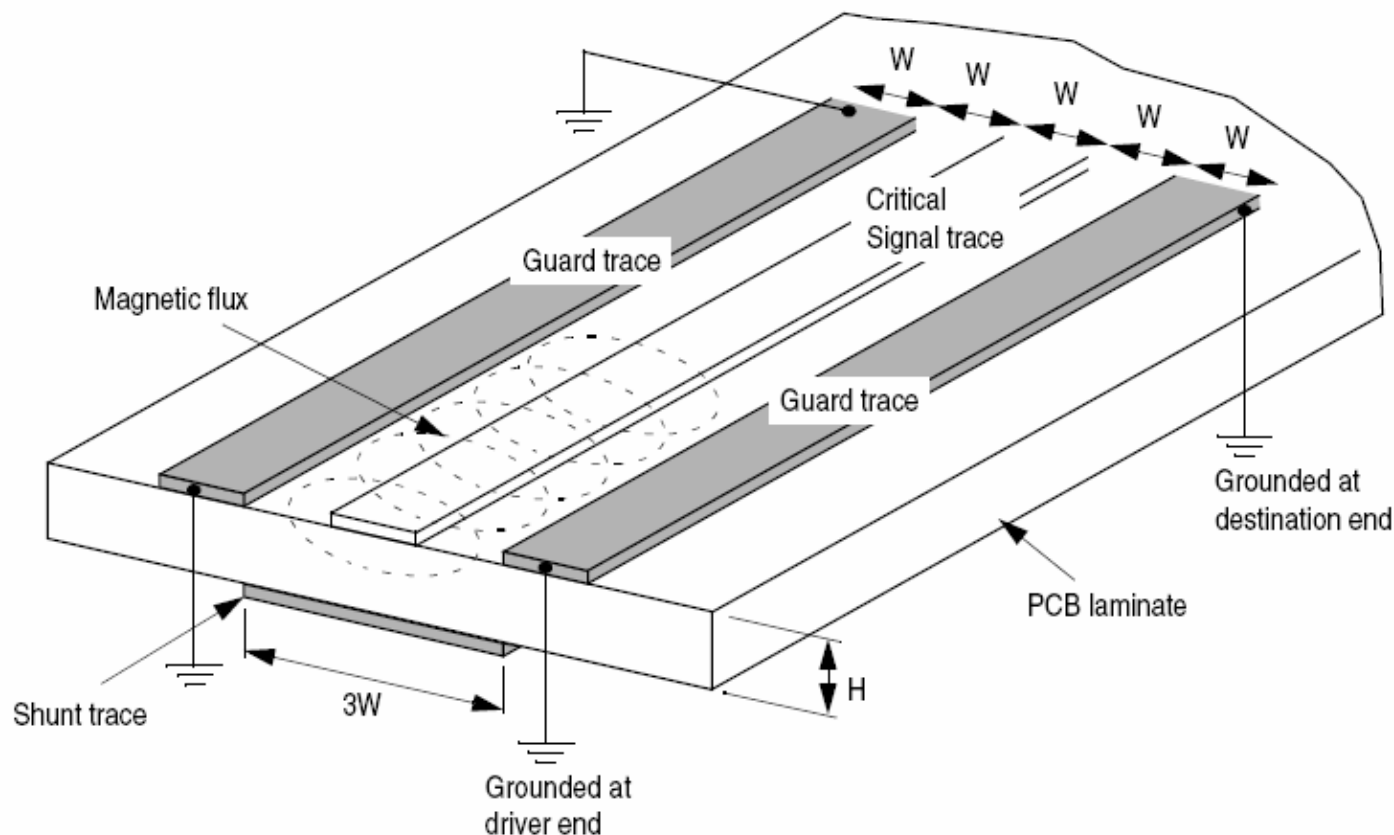
Problem preslušavanja

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



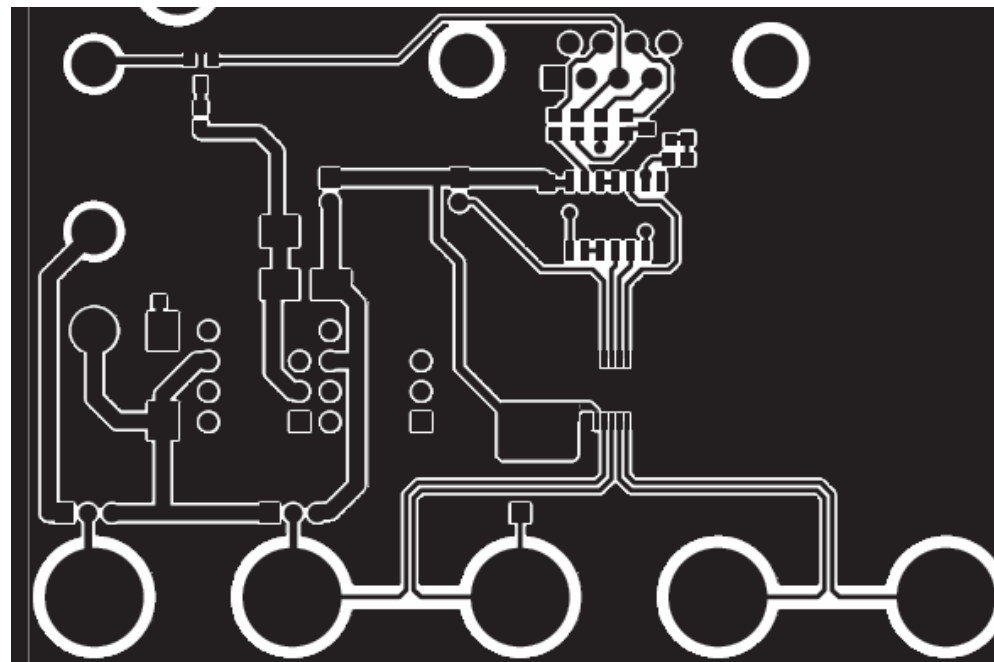
Problem preslušavanja

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

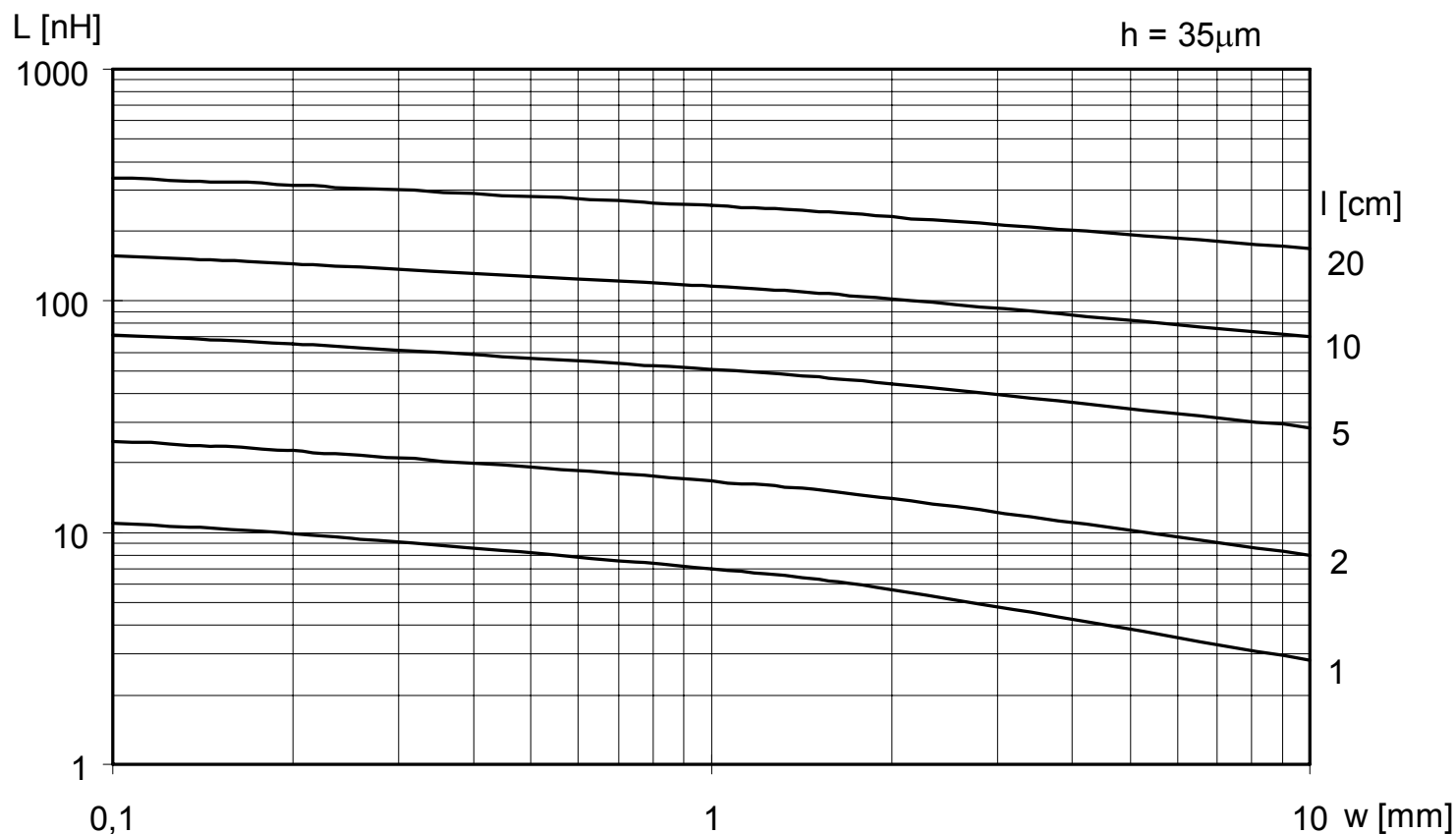
- induktivitet ovisi o geometriji tiskanog voda (odstupanje od pravca povećava induktivitet)
- induktivitet ravnog tiskanog voda:

$$L^* = \frac{L}{l} = 2 \cdot \left[\ln \left(\frac{20 \cdot l}{w + 0,001 \cdot h} \right) + 0,02235 \cdot \left(\frac{w + 0,001 \cdot h}{1} \right) + 0,5 \right]$$

$$L^* \text{ [nH / cm] ; } l \text{ [cm] ; } w \text{ [mm] ; } h \text{ [}\mu\text{m]}$$

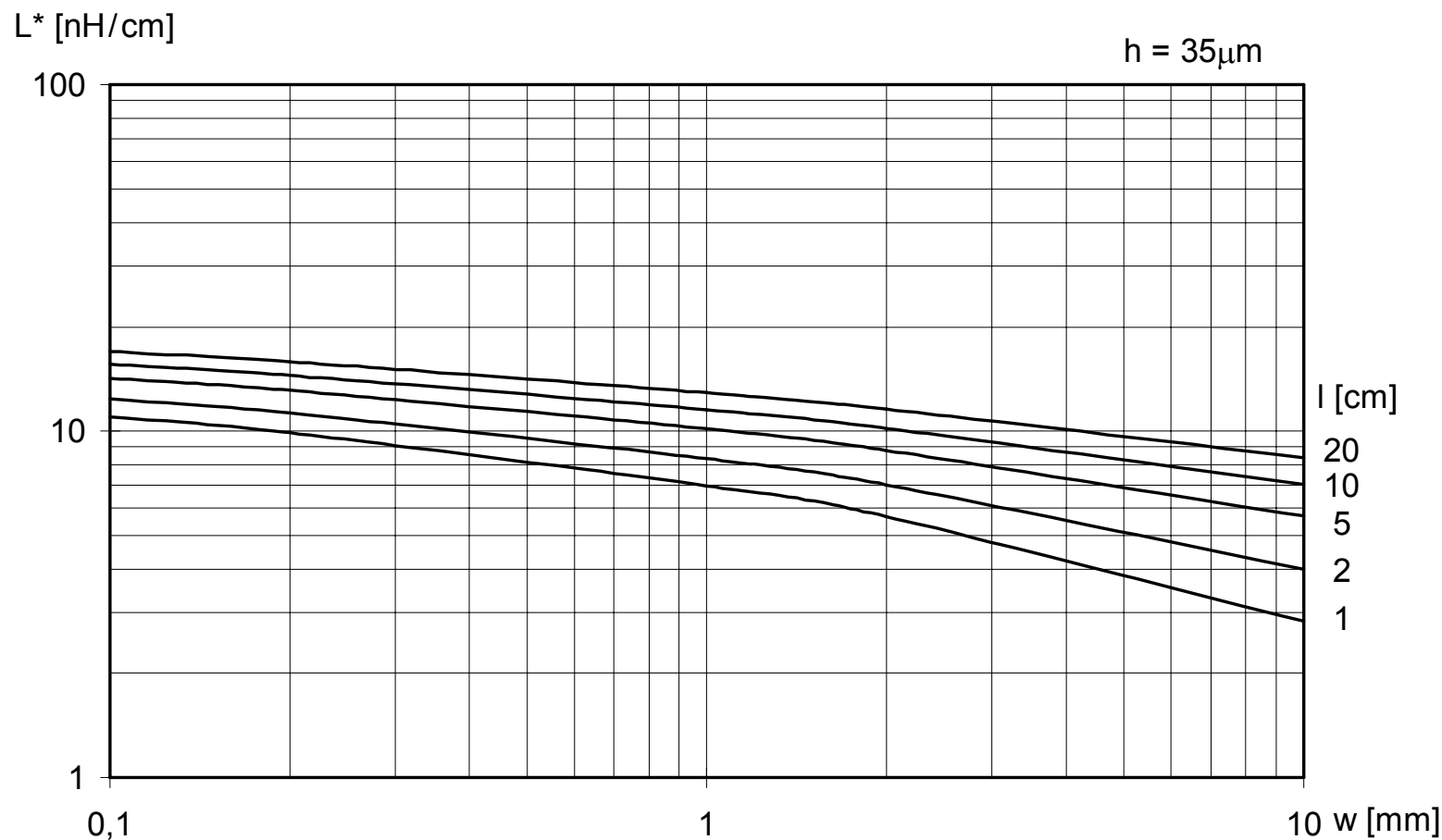
- neravni tiskani vod između krajeva zatvara površinu kroz koju se zatvaraju silnice vanjskih magnetskih polja i magnetskih polja prouzročenim protjecanjem struja kroz ostale vodove na tiskanoj pločici

Induktivitet tiskanog voda



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

Specifični linijski induktivitet



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

Induktivitet tiskanog voda

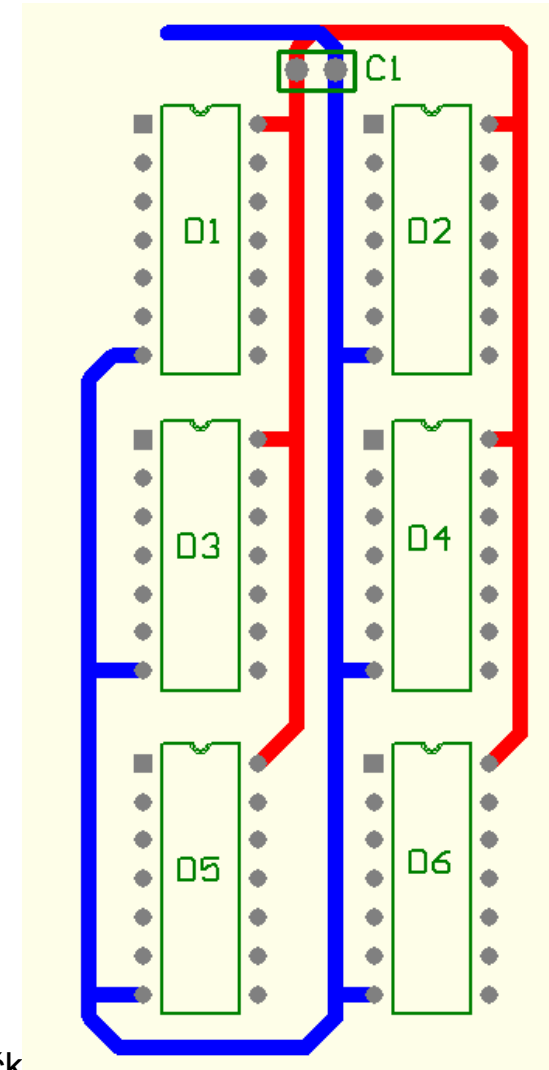
- primjer (neprikladno postavljen blokadni kondenzator C1):

$$l_{pcb} = 150 \text{ mm}, L \approx 150 \text{ nH}$$

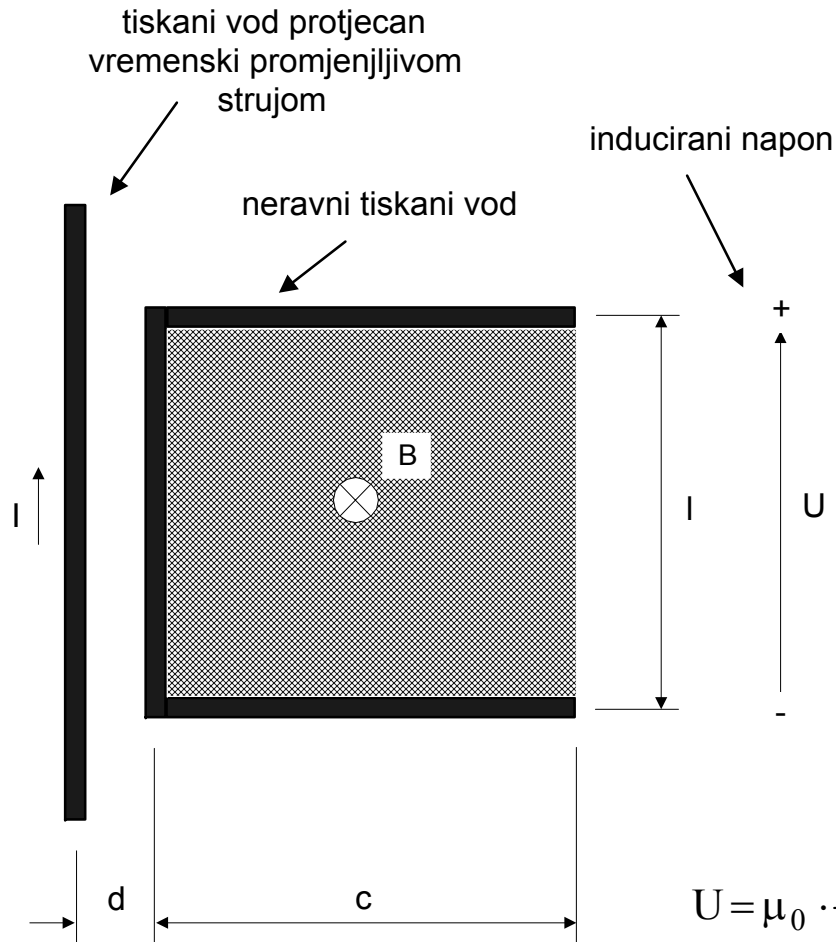
$$\text{npr. } di/dt = 50 \text{ mA} / 5 \text{ ns}$$

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

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



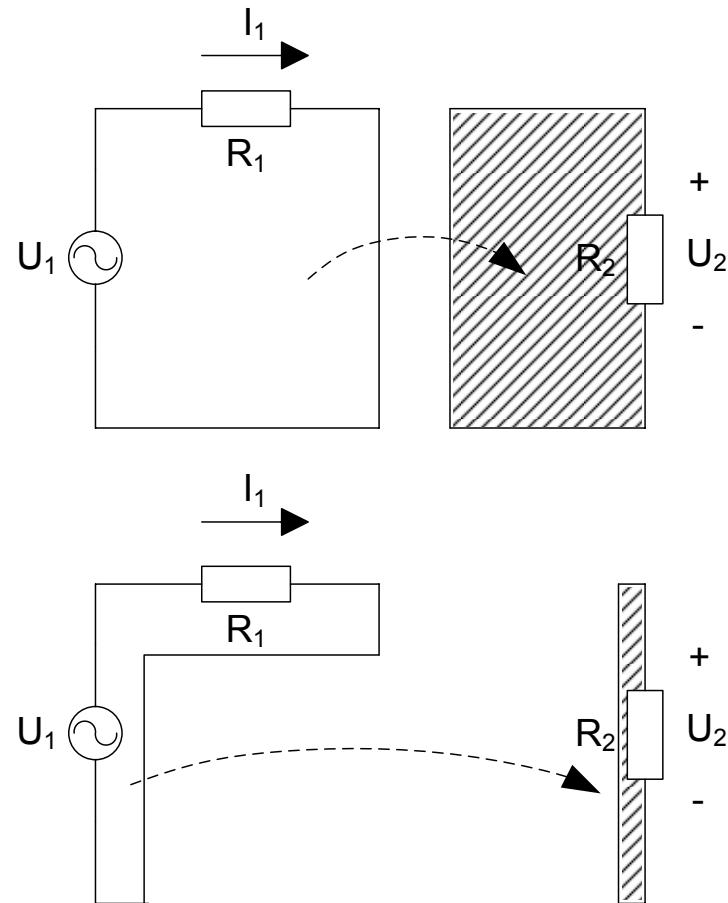
Induktivna sprega između vodova



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

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

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

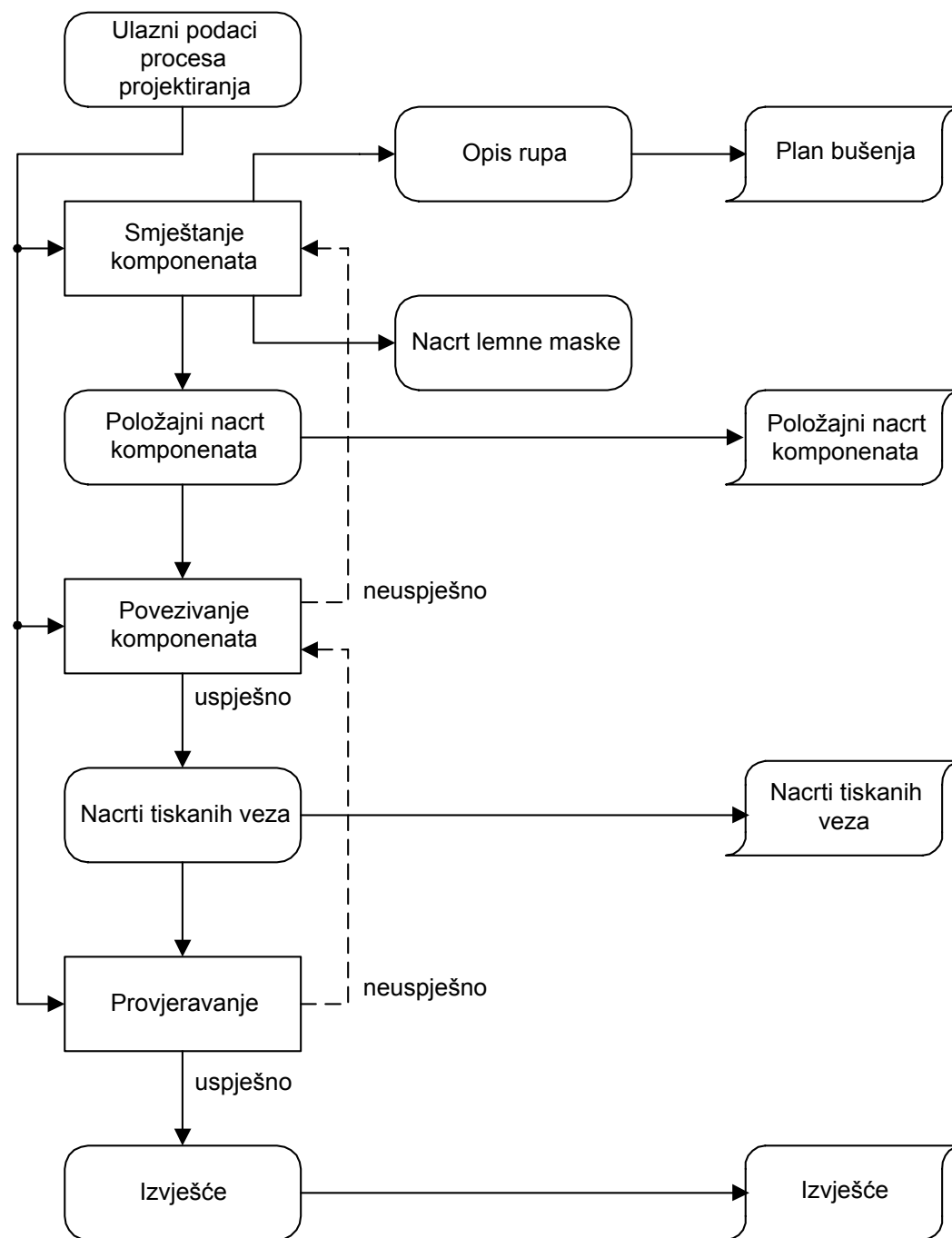
- linijski efekti (*transmission lines*):

– digitalni sklopovi: $l < t_r, t_f$; l [cm] ; t_r, t_f [ns]

– analogni sklopovi: $l < \frac{300}{f_g}$; l [cm] ; $f_g = f_{-3dB}$ [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



Položajni nacrt komponenata

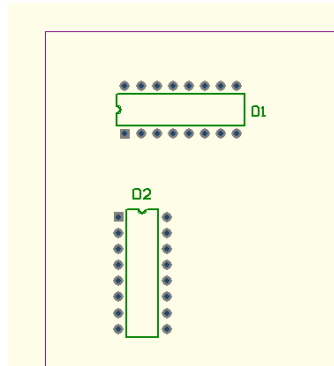
- predloženi postupak smještanja komponenata:
 - proučiti električke, mehaničke i toplinske zahtjeve
 - odrediti dimenzije pločice i način učvršćenja
 - komponente predodređene mehaničkom konstrukcijom
 - komponente za podešavanje (trimeri, promjenjivi kondenzatori i sl.)
 - disipativne komponente
 - podjela komponenata na analogni i digitalni dio
 - podjela komponenata prema radnoj frekvenciji
 - najprije smjestiti najosjetljivije 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

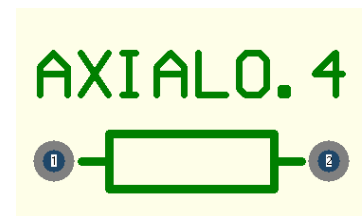
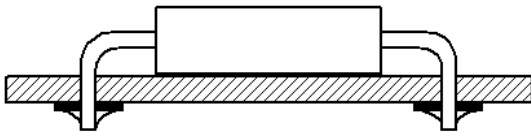
- smještanje komponenti:
 - ručno
 - poluautomatski (alati za poravnavanje i jednostavne algoritme raspoređivanja komponenti)
 - automatski (*autoplacement*)
- maske za tehnološko procesiranje
 - oznake komponenata otiskuju se tehnikom sitotiska na zaustavnom laku (*silkscreen layers*)
 - *top overlay*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

Preporuke za smještanje komponenata

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

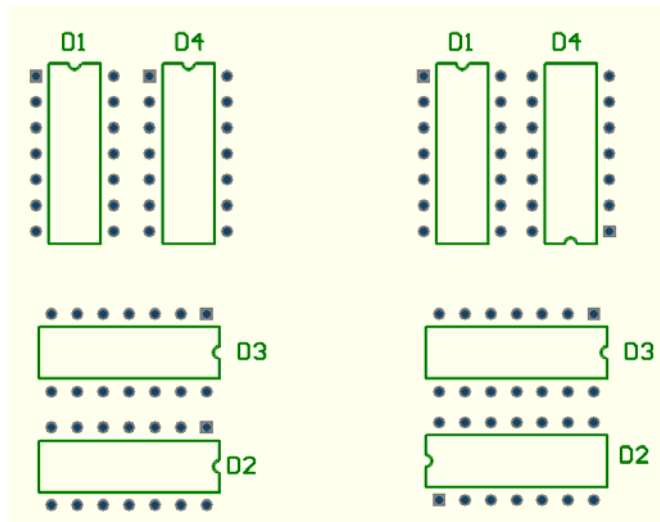


- komponente s osnim izvodima (*axial*) predvidjeti za vodoravnu ugradnju:



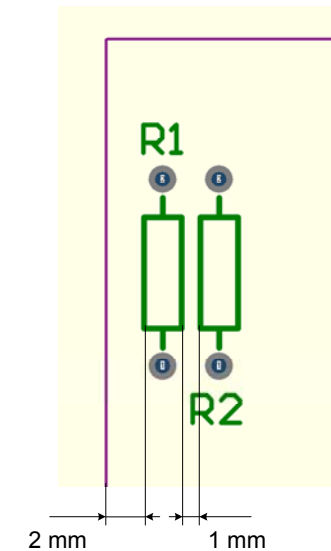
Preporuke za smještanje komponenata

- 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:



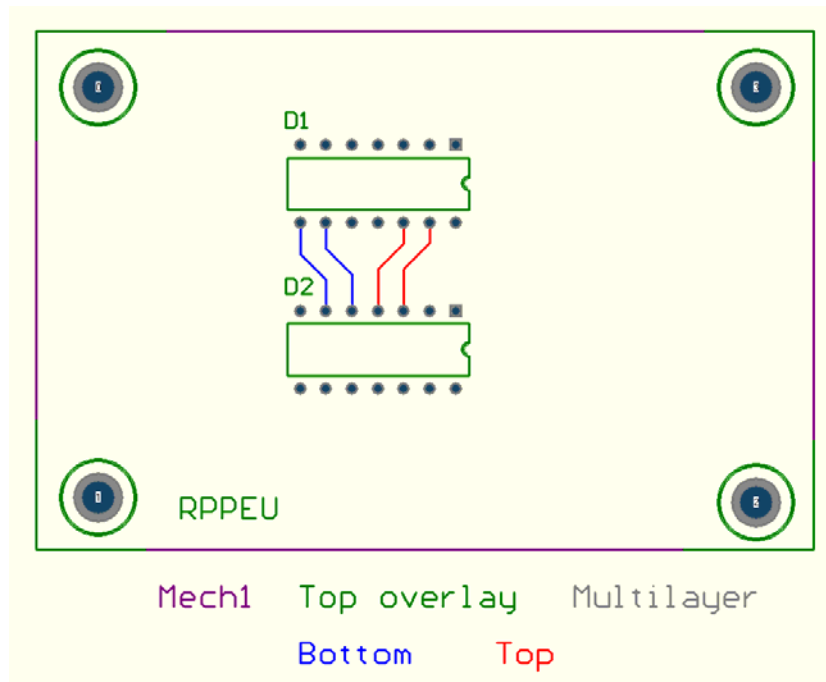
dobro

loše

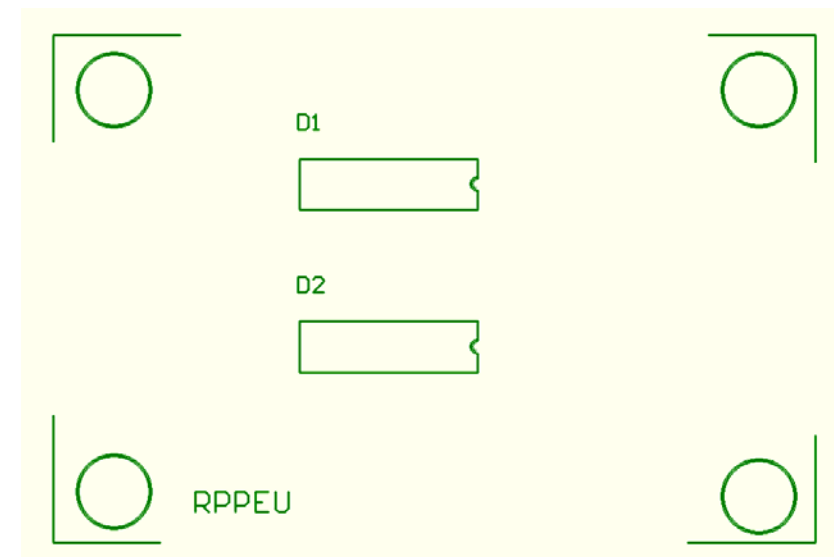


Preporuke za smještanje komponenata

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



projektirana tiskana pločica



položajni nacrt komponenata (samo *top silkscreen!*)

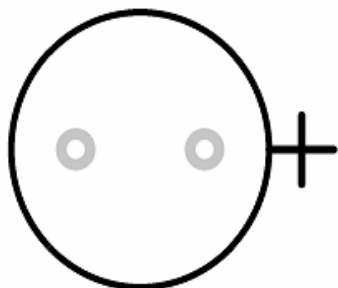
Najčešće korištena kućišta komponenata



AXIAL0.4



DIODE0.4



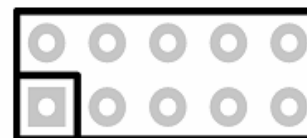
RB0.2 / 0.4



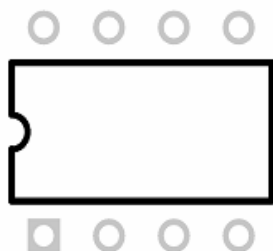
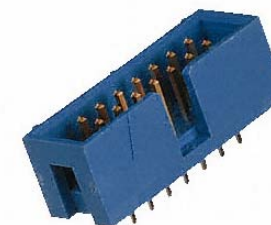
RAD0.2



SIP4



IDC10



DIP8



TO – 92A



9. Nacrt(i) tiskanih veza

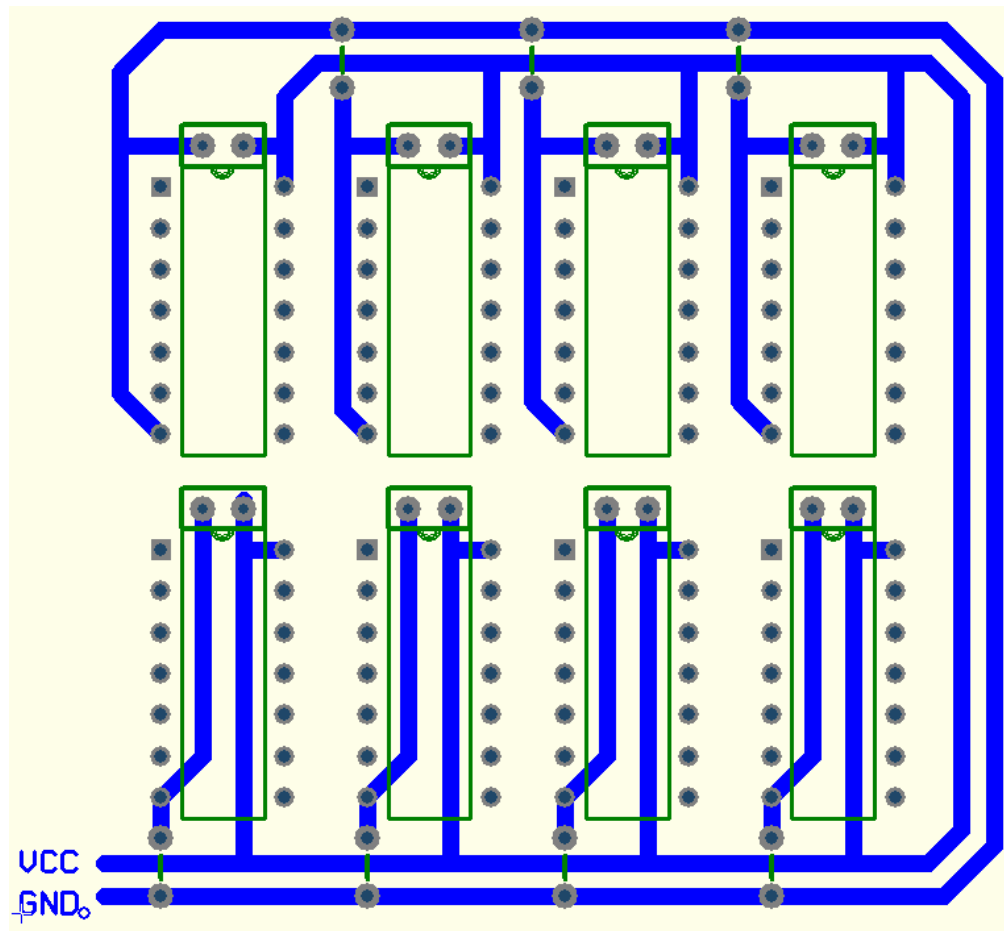
- projektiranje maski za tehnološko procesiranje vodljivih slojeva na tiskanoj pločici
- u programima će se raditi isključivo:
 - jednostrane pločice (s kratkospojnicima)
 - dvostrane pločice (uz korištenje prosvoja (*via*))
 - *koristiti through-hole komponente*
- voditi računa o:
 - vrijednostima parazitnih 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

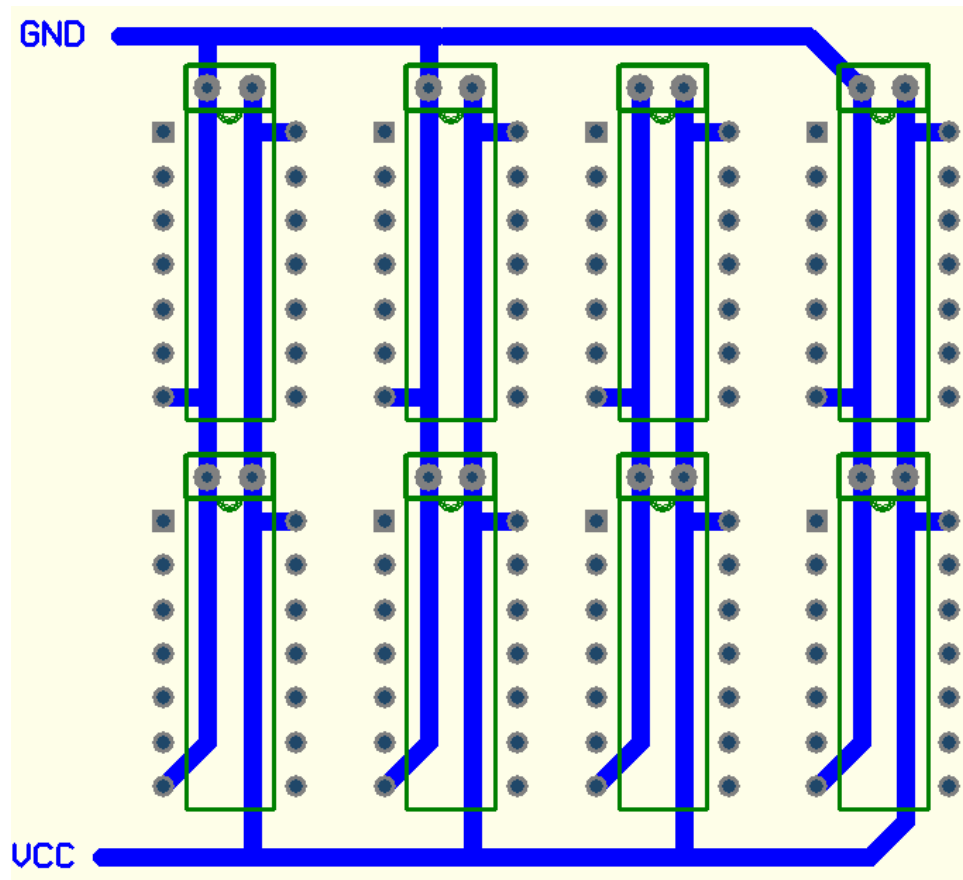
Razvođenje napajanja

- jednostrana tiskana pločica:



Razvođenje napajanja

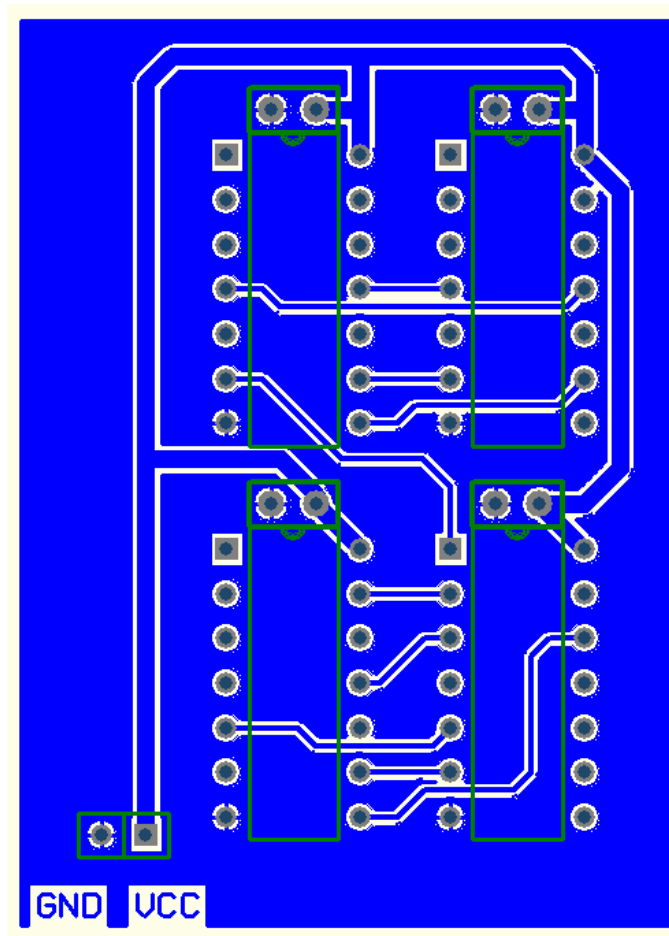
- jednostrana tiskana pločica - loše rješenje (velika površina strujnih petlji)



Računalom podržano projektiranje elektroničkih uređaja

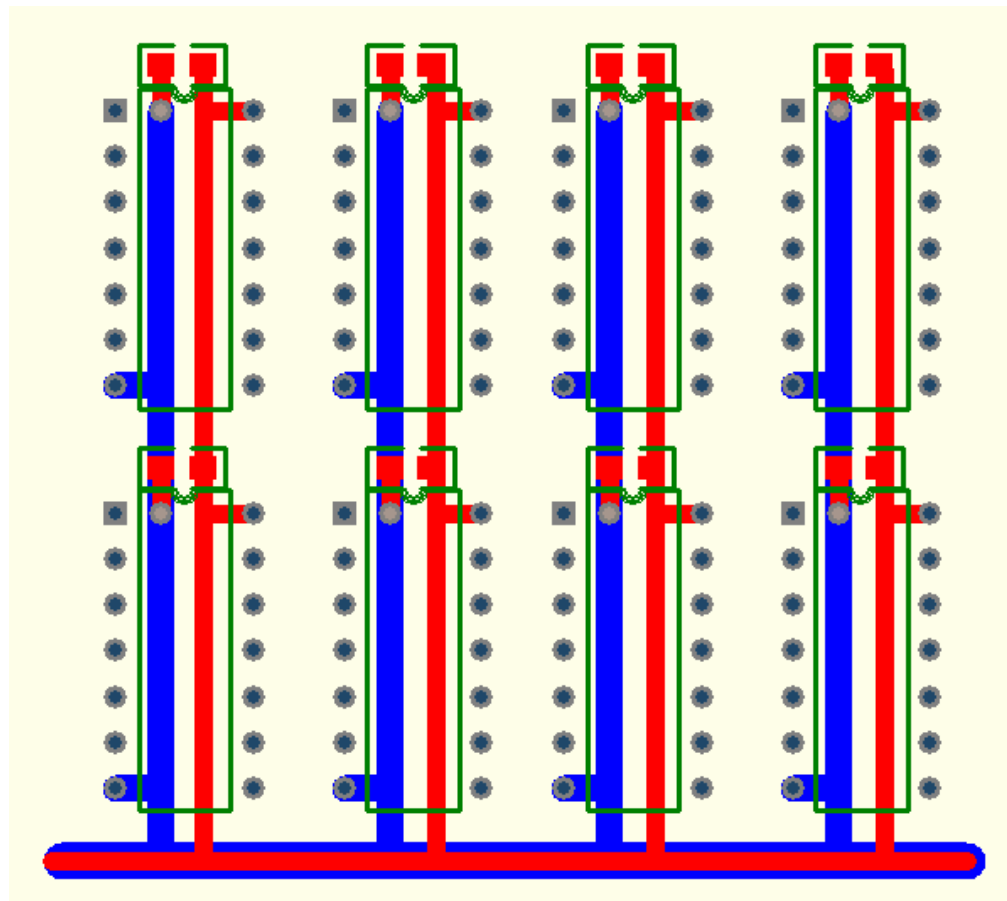
Razvođenje napajanja

- ispuna masom (*polygon plane*):



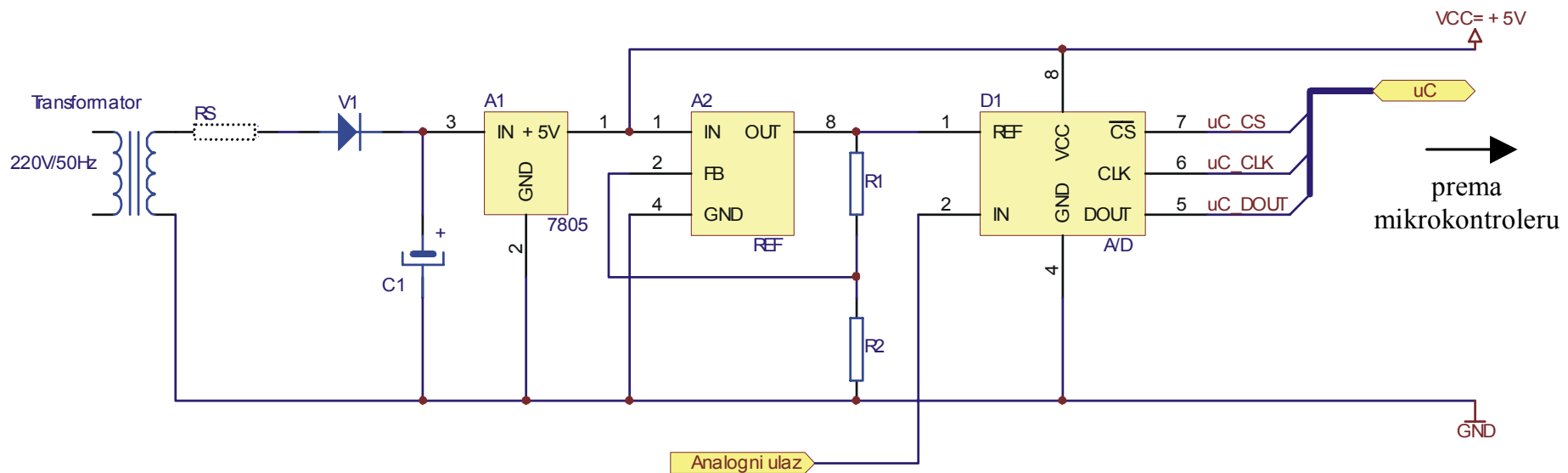
Razvođenje napajanja

- dvostrana tiskana pločica:

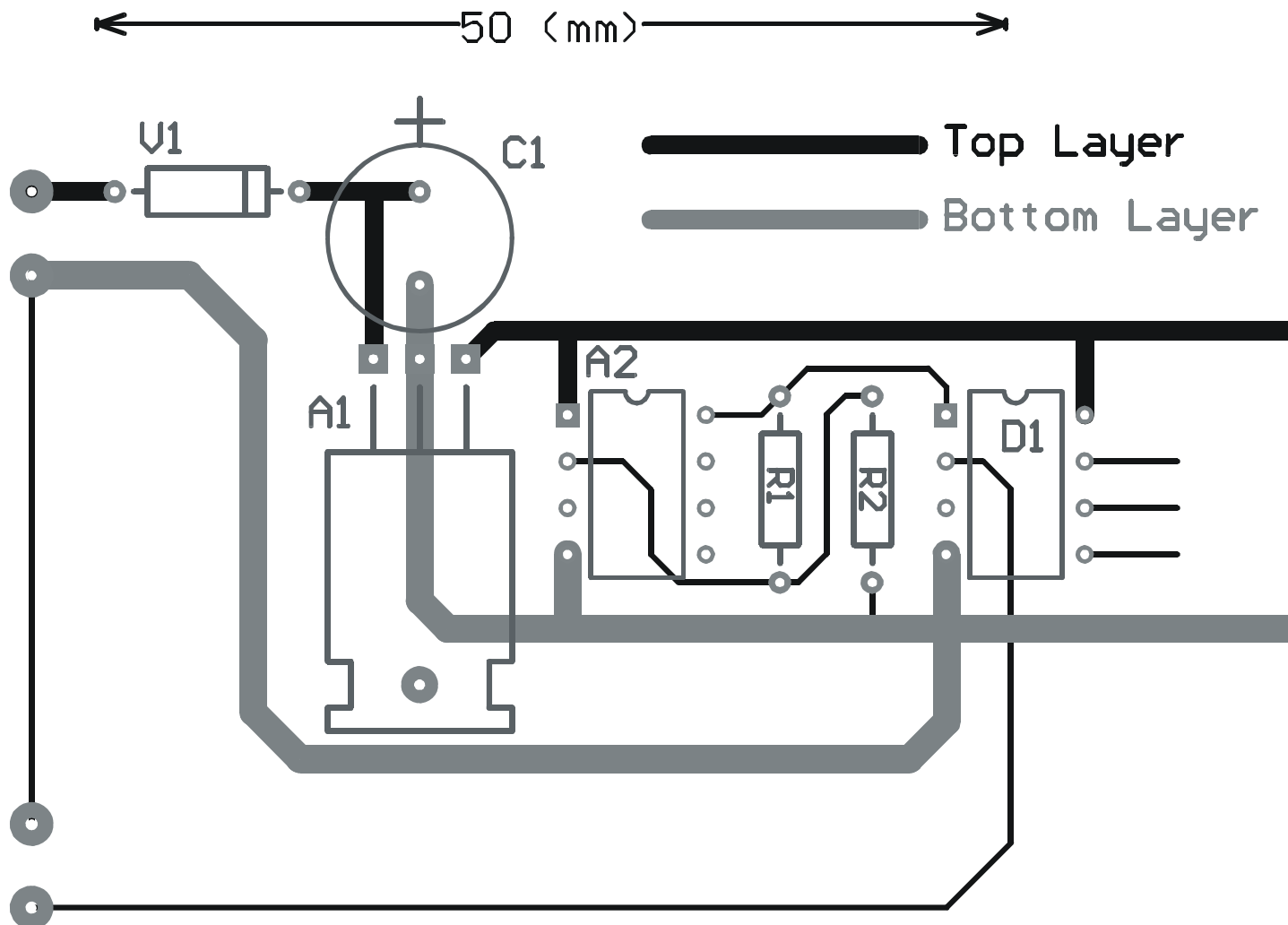


Smetnje zajedničke impedancije

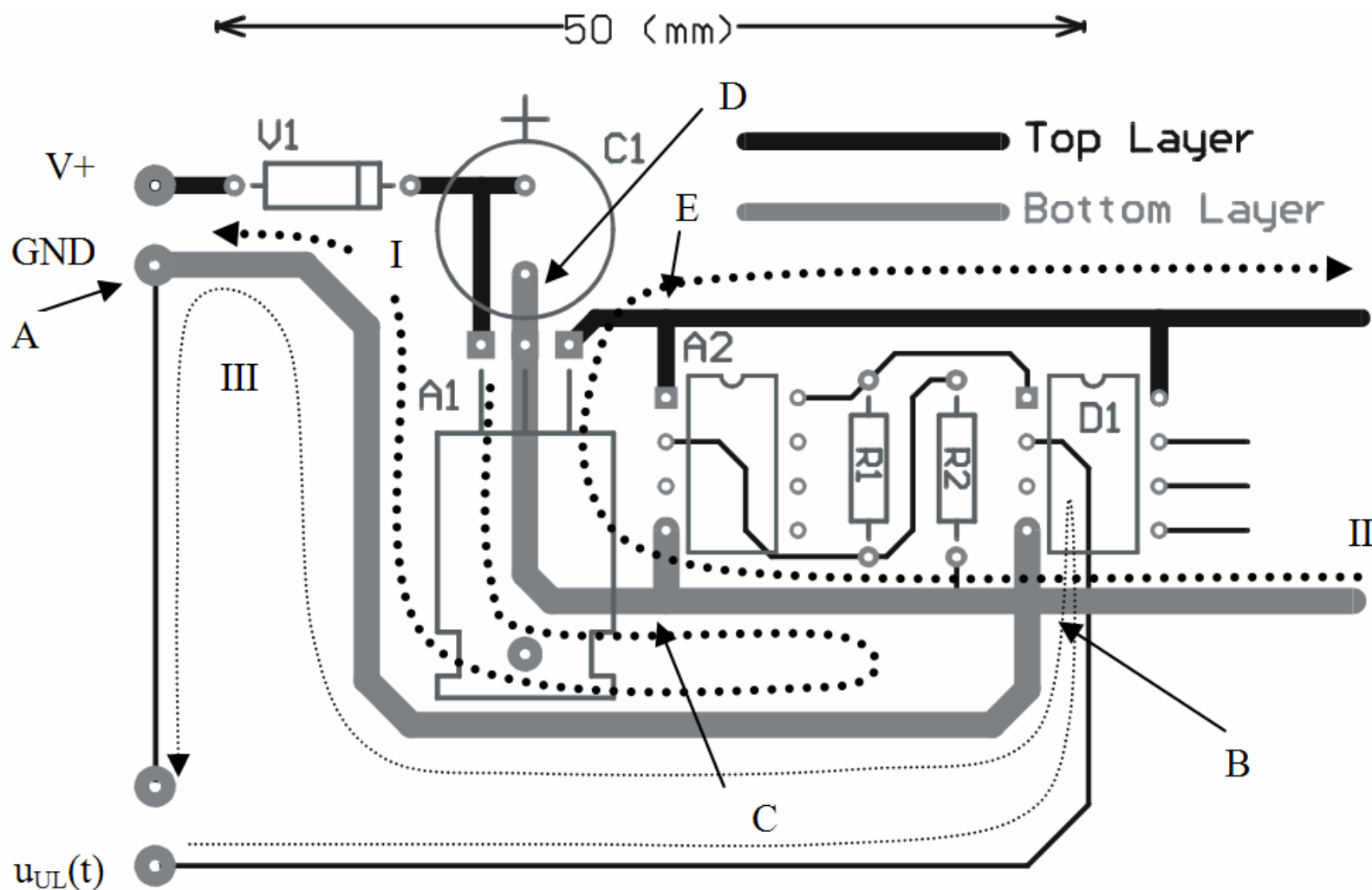
- tiskani vodovi imaju konačnu impedanciju
- poseban problem predstavlja impedancija mase, jer se sve struje zatvaraju kroz vodove mase
- primjer:



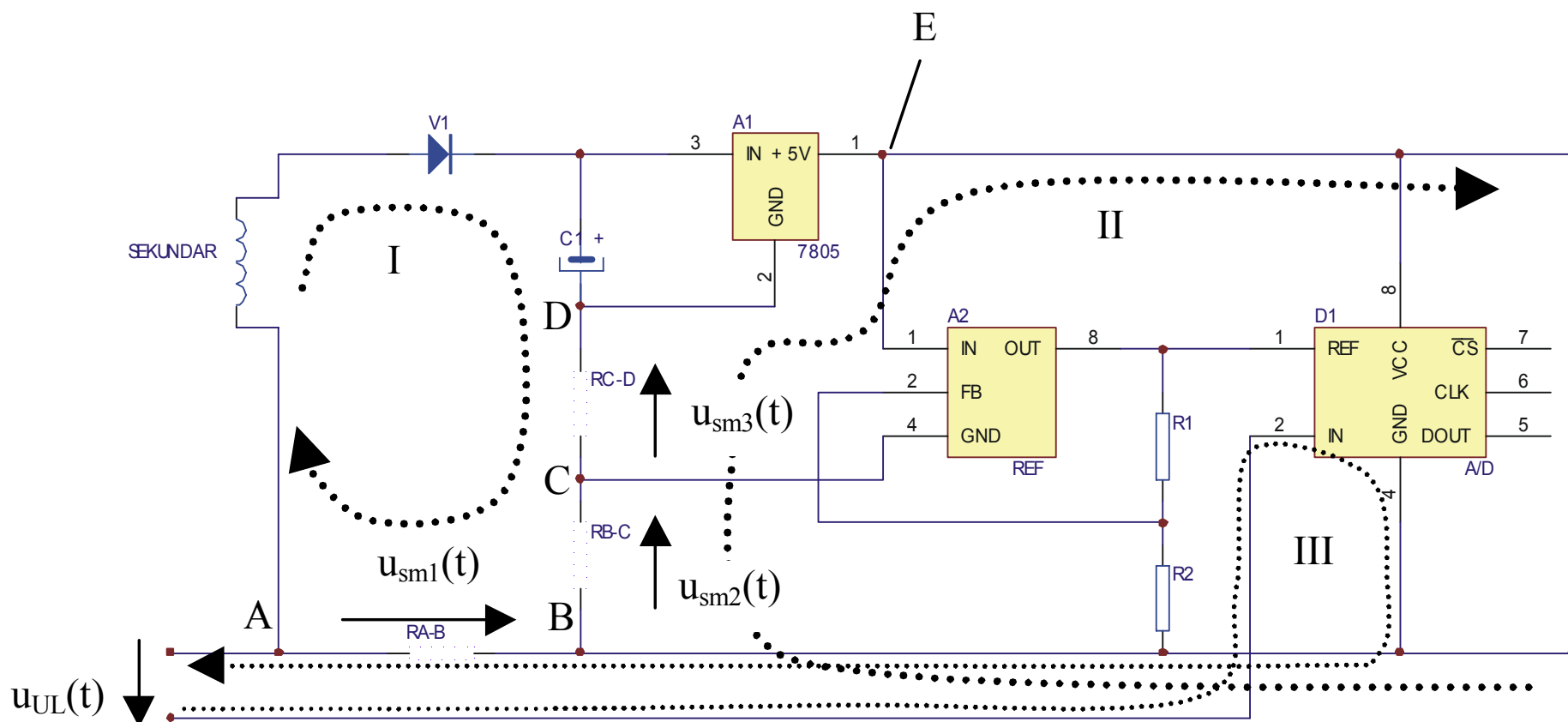
Smetnje zajedničke impedancije



Smetnje zajedničke impedancije

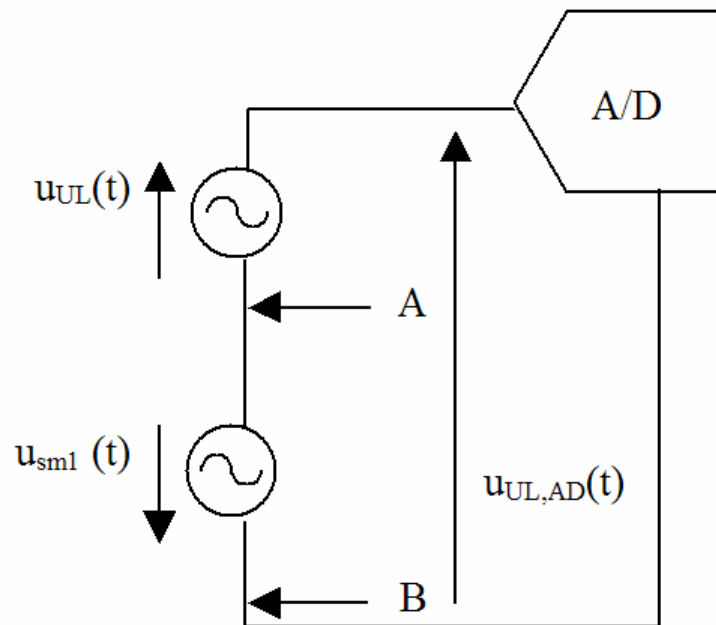


Smetnje zajedničke impedancije



Zajednička impedancija segmenta A-B

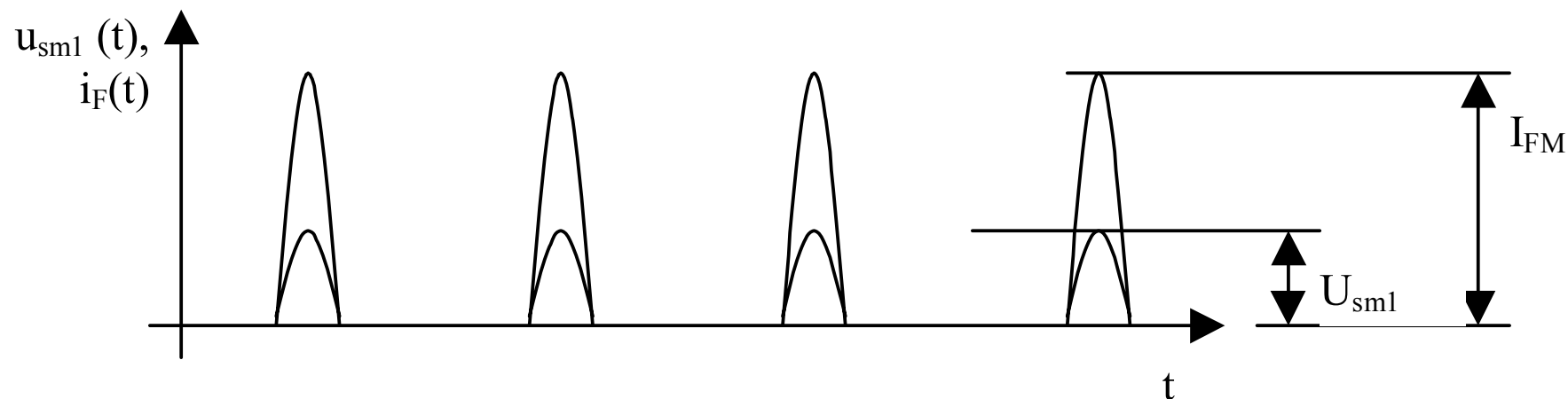
- utjecaj smetnji zajedničke impedancije na mjerenje ulaznog napona



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

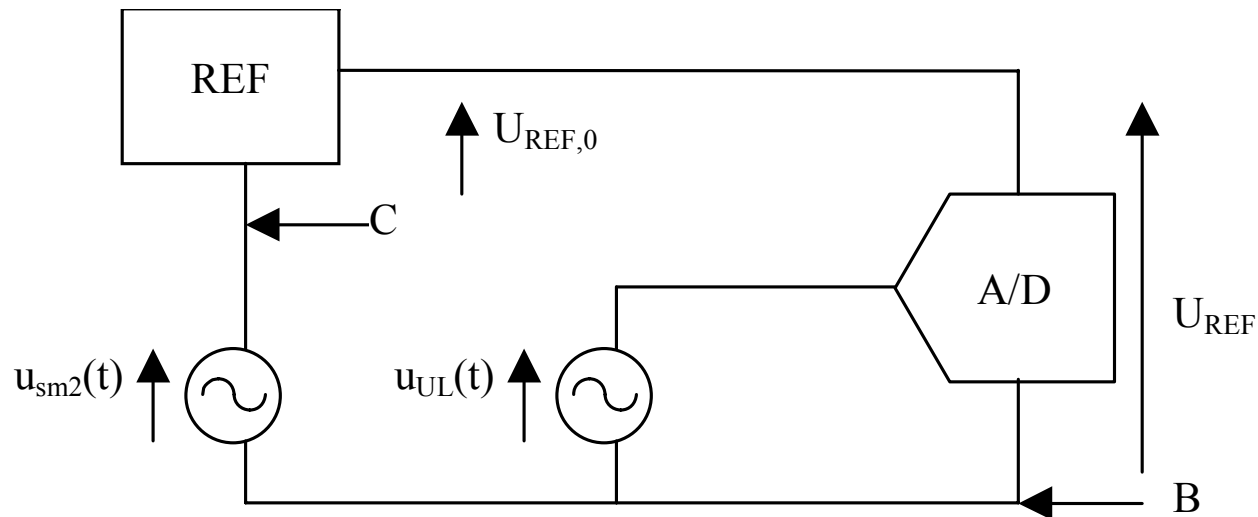
Zajednička impedancija segmenta A-B

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

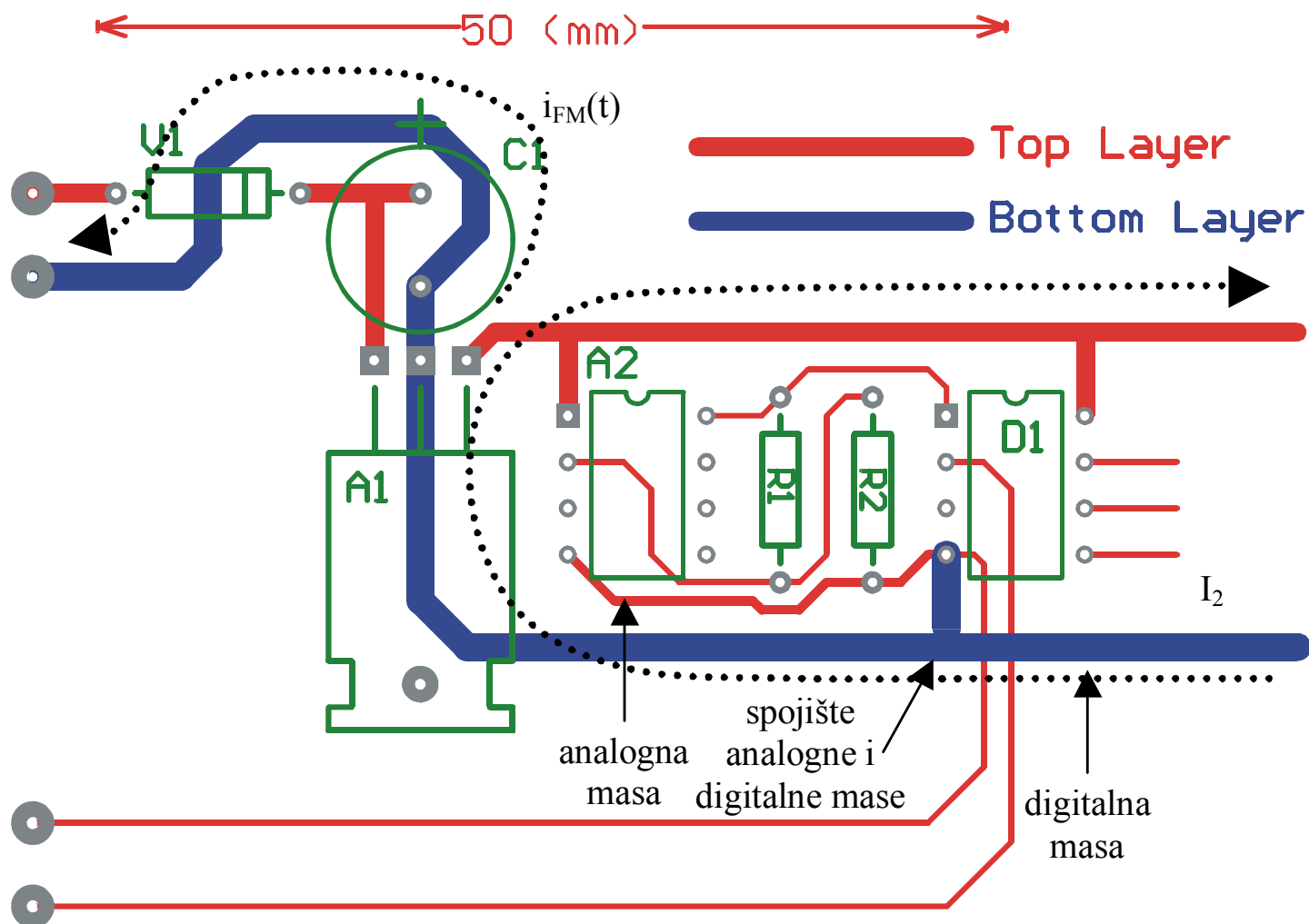


Zajednička impedancija segmenta B-C

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

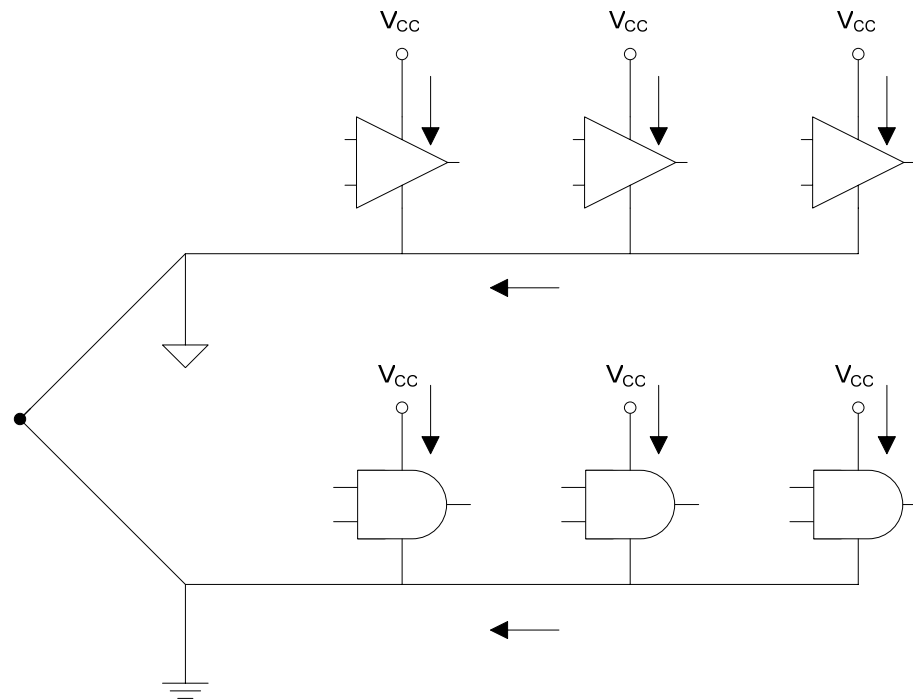


Ispravna topologija



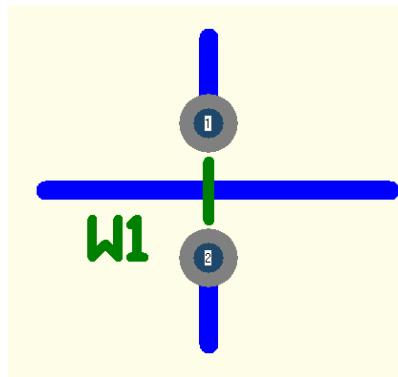
Analogna i digitalna masa

- 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)

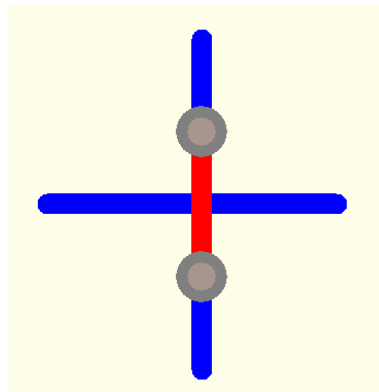


Križanje vodova

- jednostrane pločice – kratkospojnici:

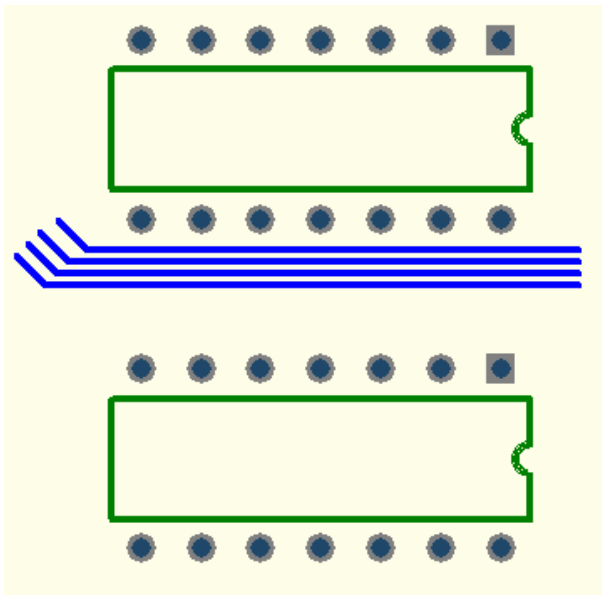


- dvostrane pločice – prospoji (*vias*):

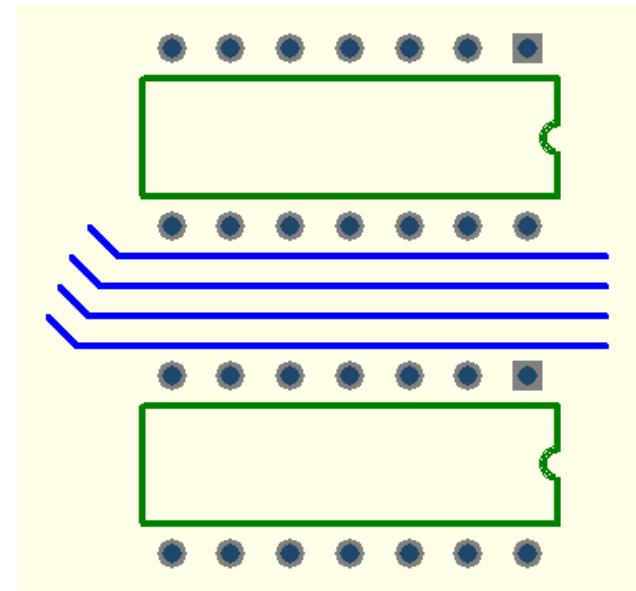


Ravnomjerno raspoređivanje vodova

- kod postavljanja vodljivih veza nastojati maksimalno iskoristiti površinu pločice:



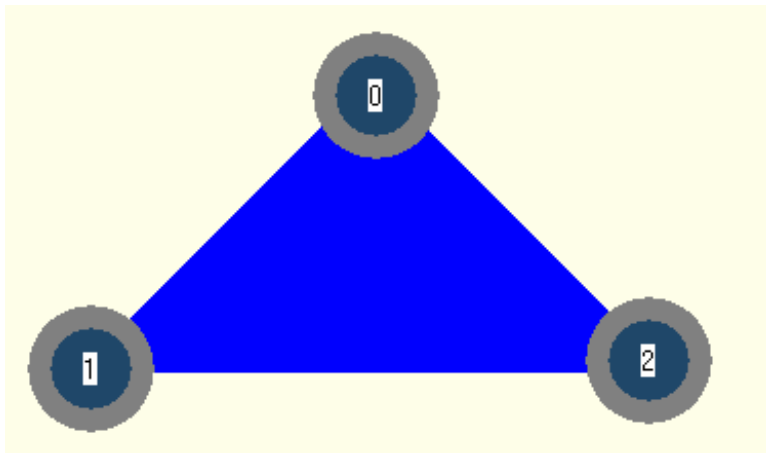
loše



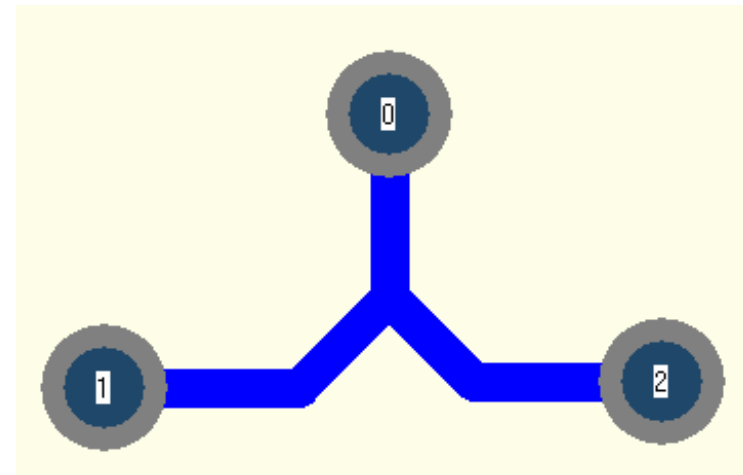
dobro

Izbjegavati velike lemne površine

- mogućnost nastanka hladnog lema:

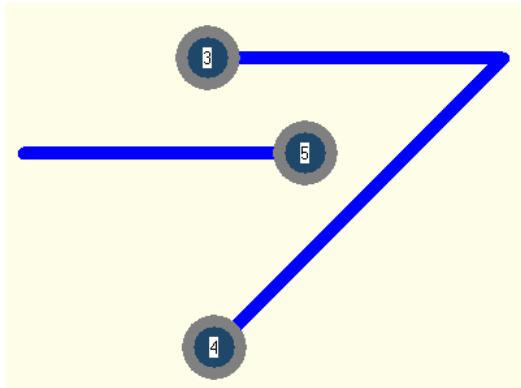


loše

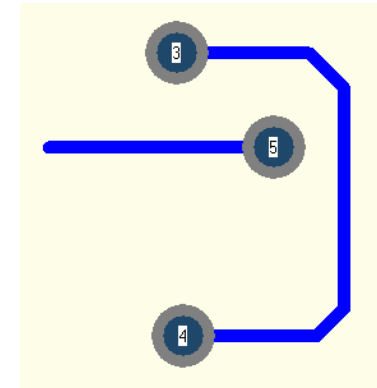


dobro

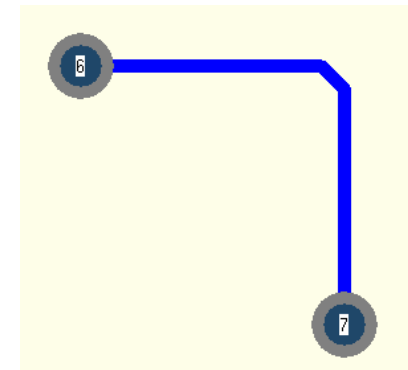
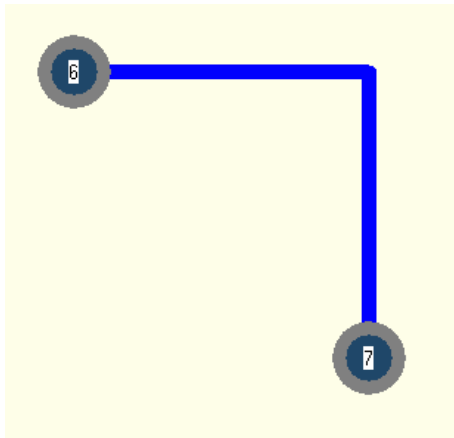
Izbjegavati šiljke i prave kutove



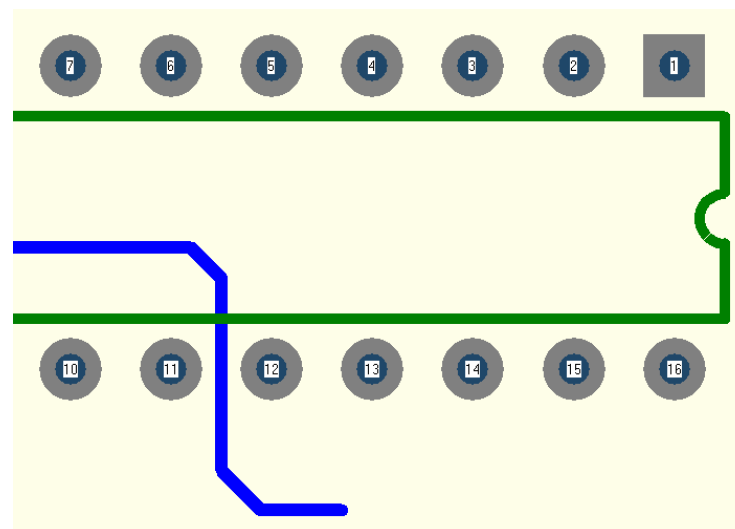
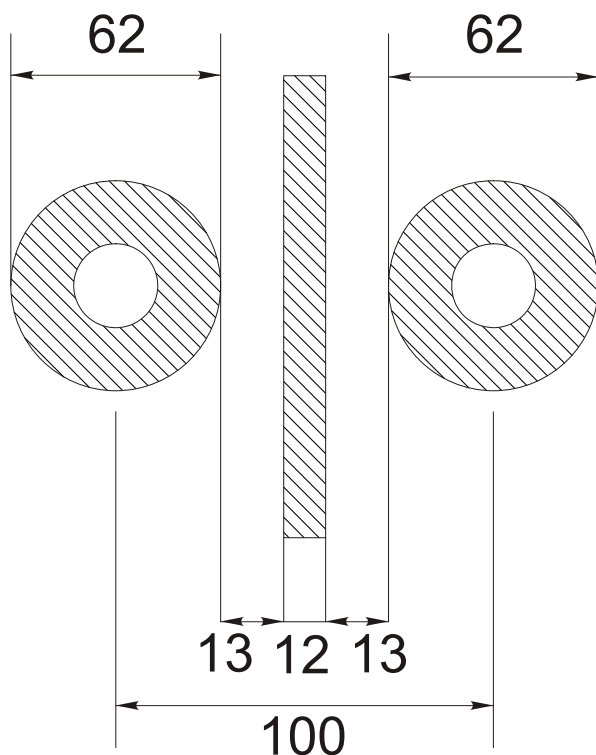
loše



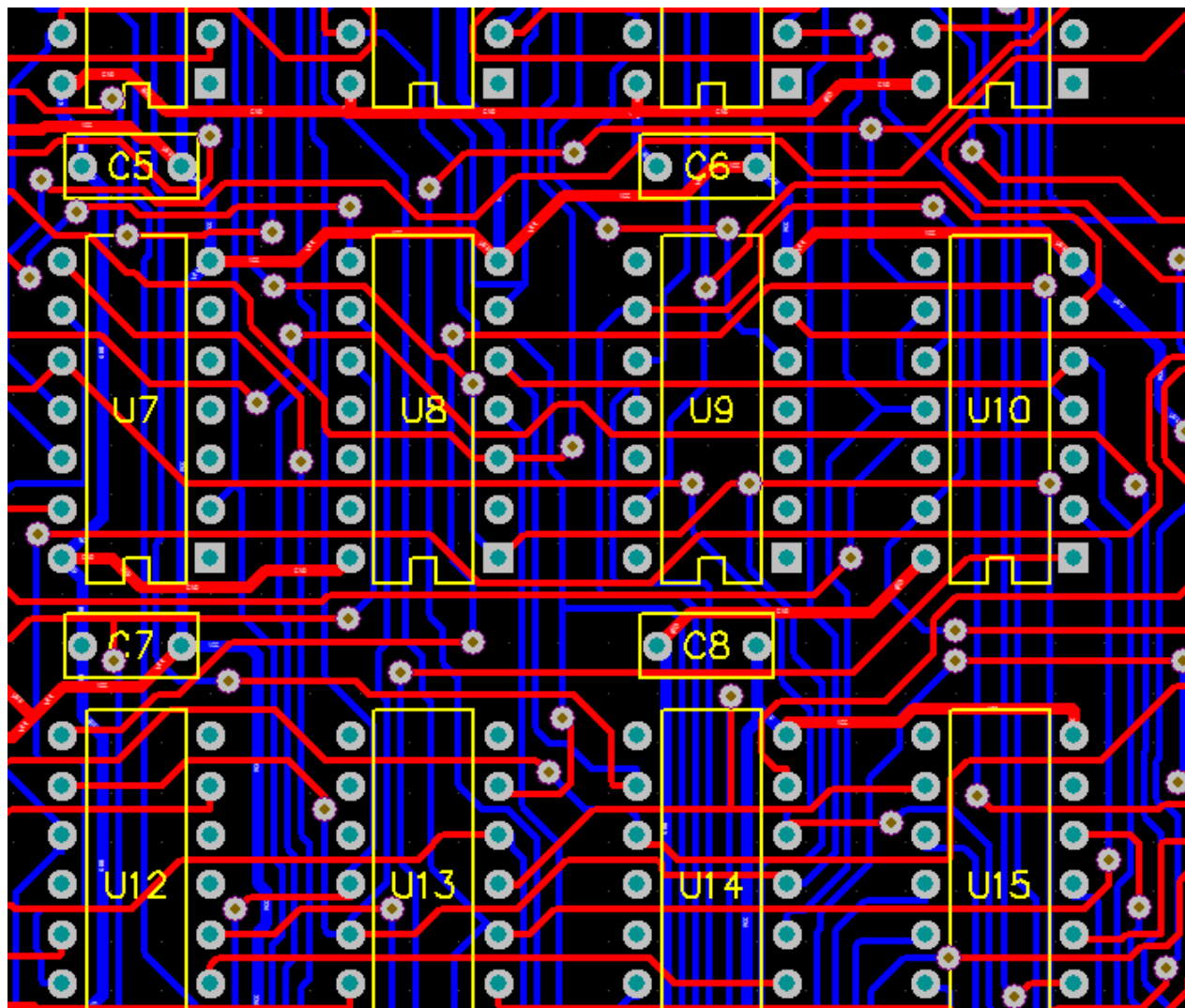
dobro



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

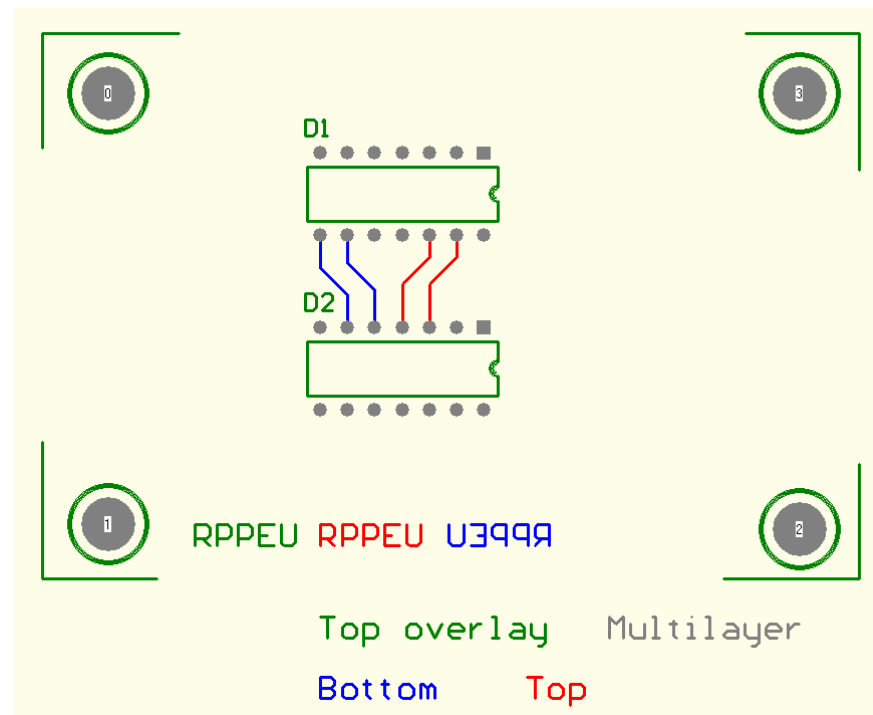


X-Y bias

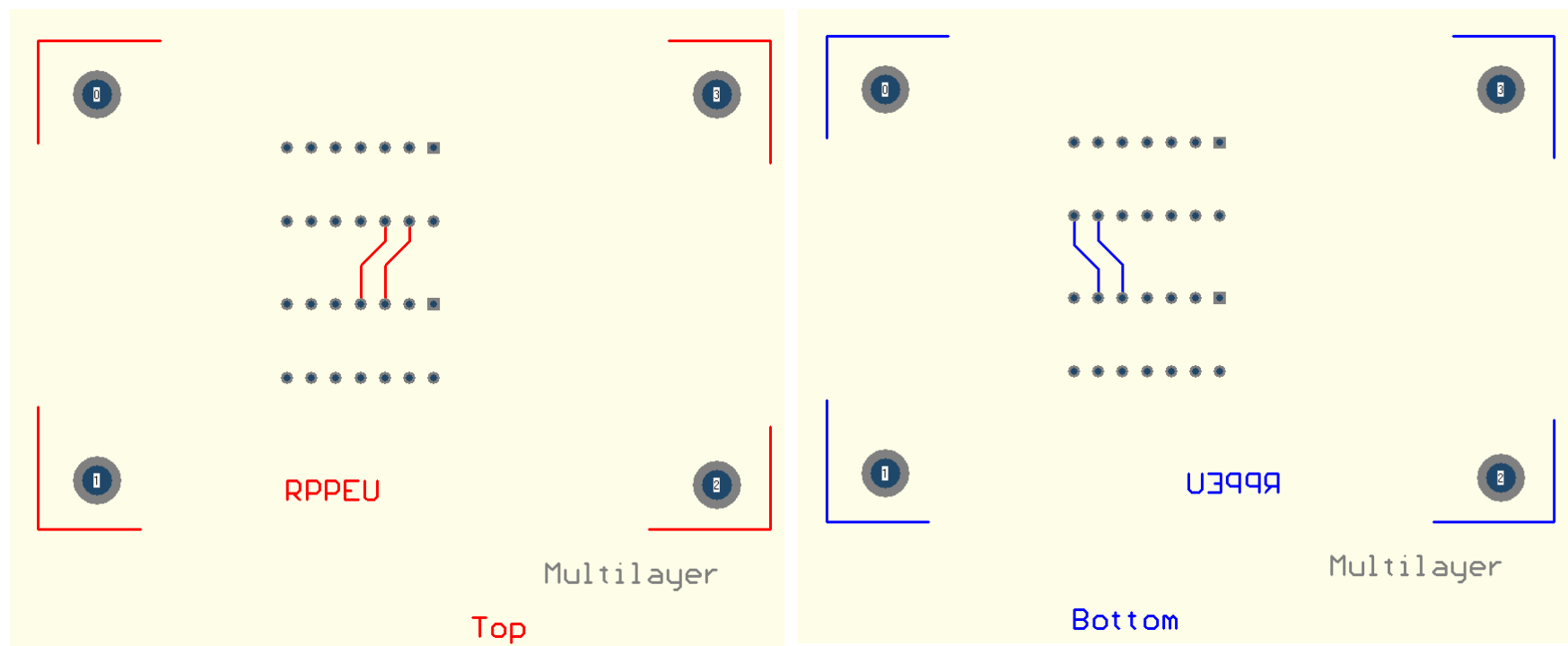


Nacrt tiskanih veza

- 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



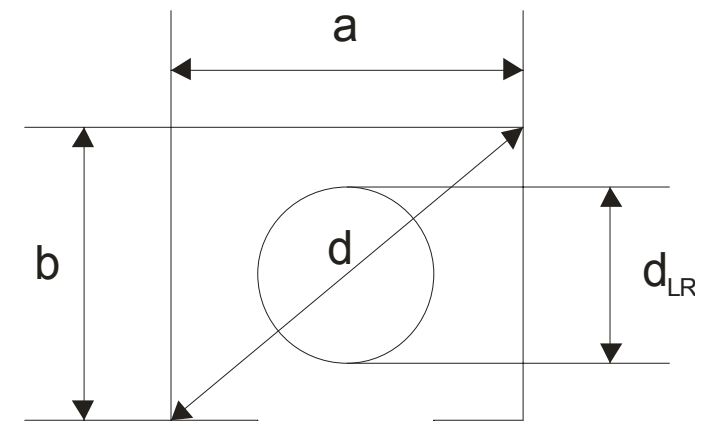
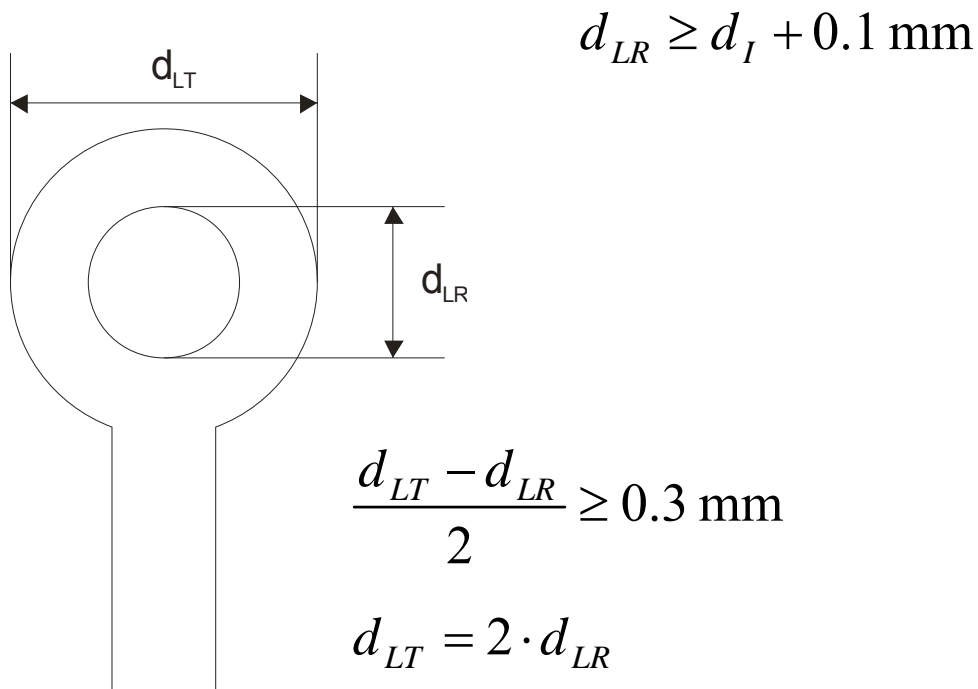
komponentna strana (*top*)

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



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

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

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)



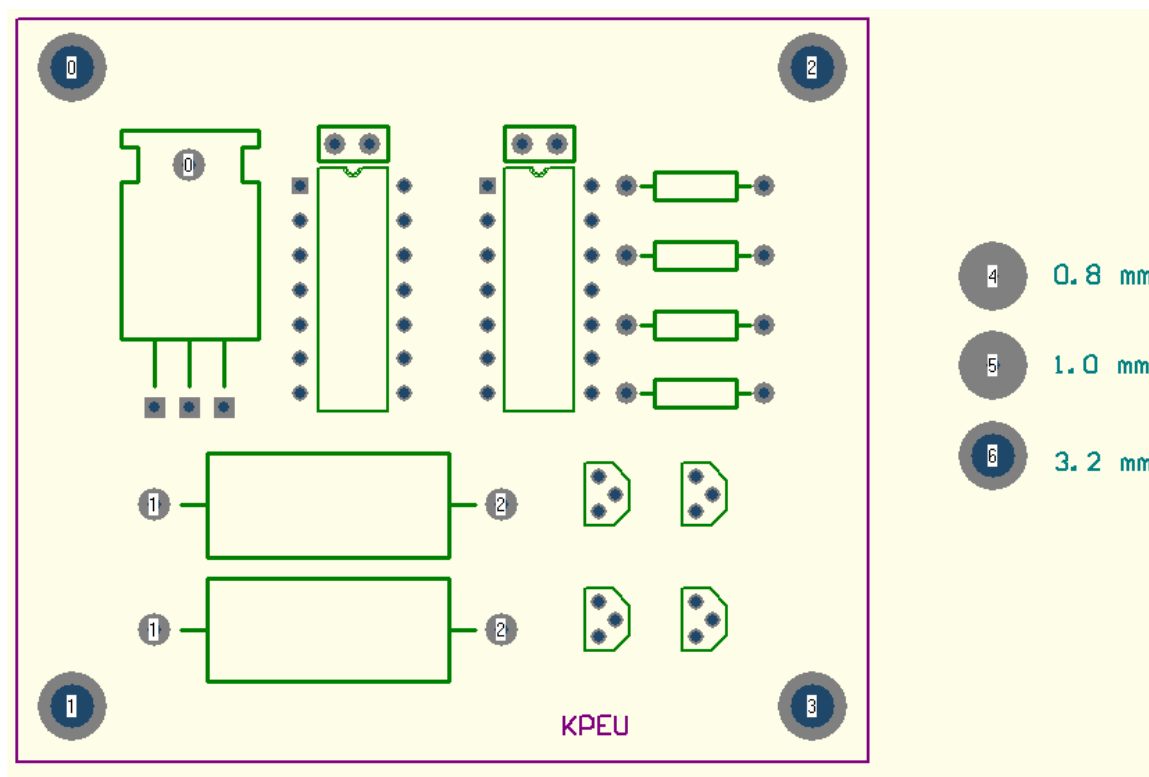
lemne točke za ručno bušenje



lemne točke za strojno bušenje

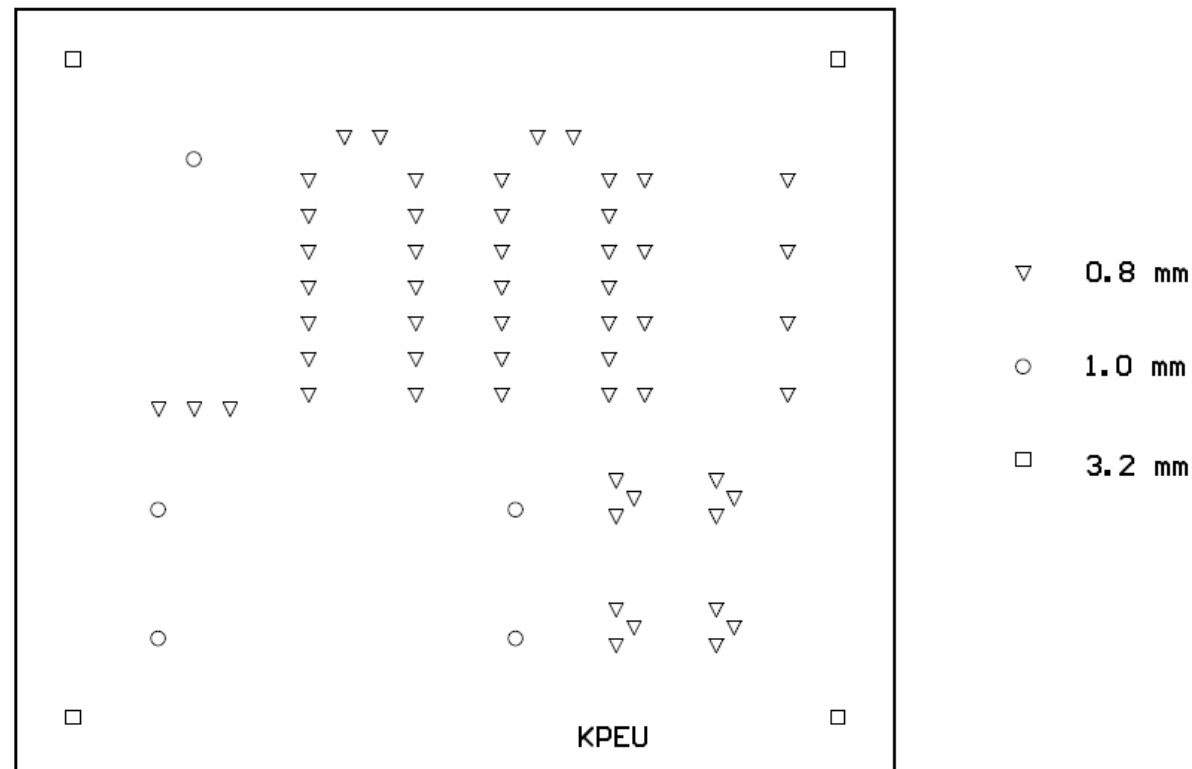
10. Plan bušenja

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



10. Plan bušenja

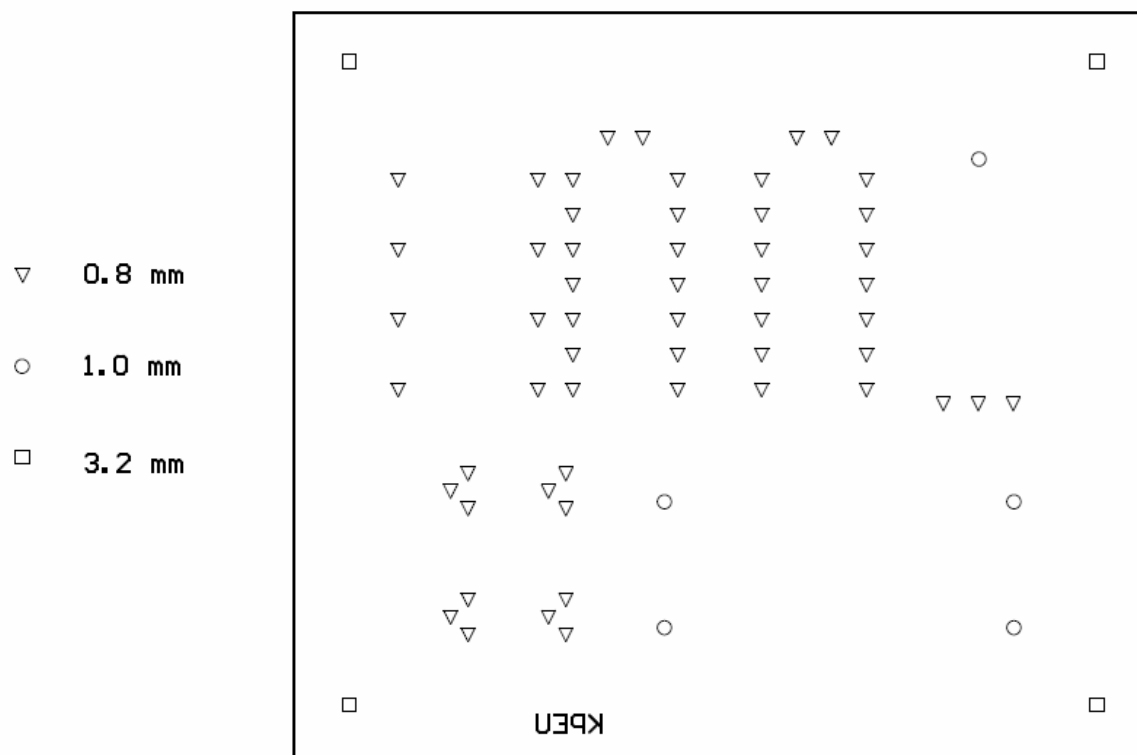
- na planu bušenja sve rupe istog promjera moraju biti označene istim simbolom (svrdla obavezno u [mm], ne u [mils] ili [inch]!) :



- 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