

Realizacija elektronskih sklopov

Napajanje

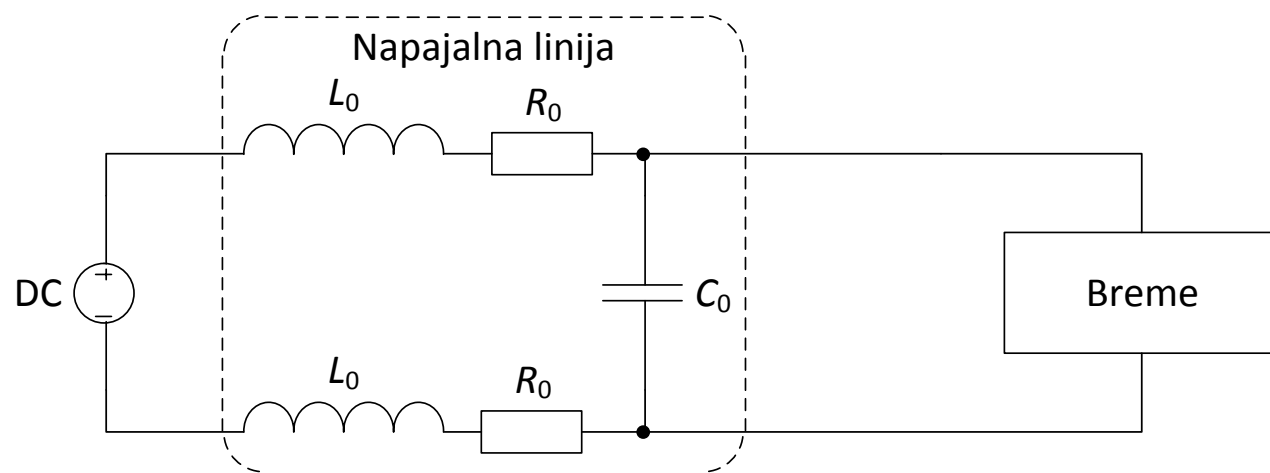
M. Jankovec

Napajanje

- Napajalne linije so prisotne na vsej površini vezja
 - Potencialni prenašalec motenj po celotnem vezju
- Lastnosti
 - Dovajanje konstantne enosmerne napetosti kjerkoli ne glede na obremenitev
 - Izmenični signali, ki jih lahko generirajo bremena ne smejo povzročati izmenične napetosti na napajanju
 - Idealni napajalni vir ima impedanco enako 0
- Predstavlja pogost izvor v napačnem delovanju vezja, ki „na papirju“ deluje brezhibno

Induktivnost napajanja

- Napetostni regulatorji imajo omejeno frekvenčno območje regulacije
 - Njihova izhodna impedanca se s frekvenco večja
 - Modeliramo kot zaporedno vezano induktivnost na izhodu
 - Tipična vrednost za triočkovni regulator je $1 - 2 \mu\text{H}$
- Induktivnost povezovalnih linij
 - $L_0 = 8 \text{ nH/cm}$



Najpogostejši viri motenj v napajanju

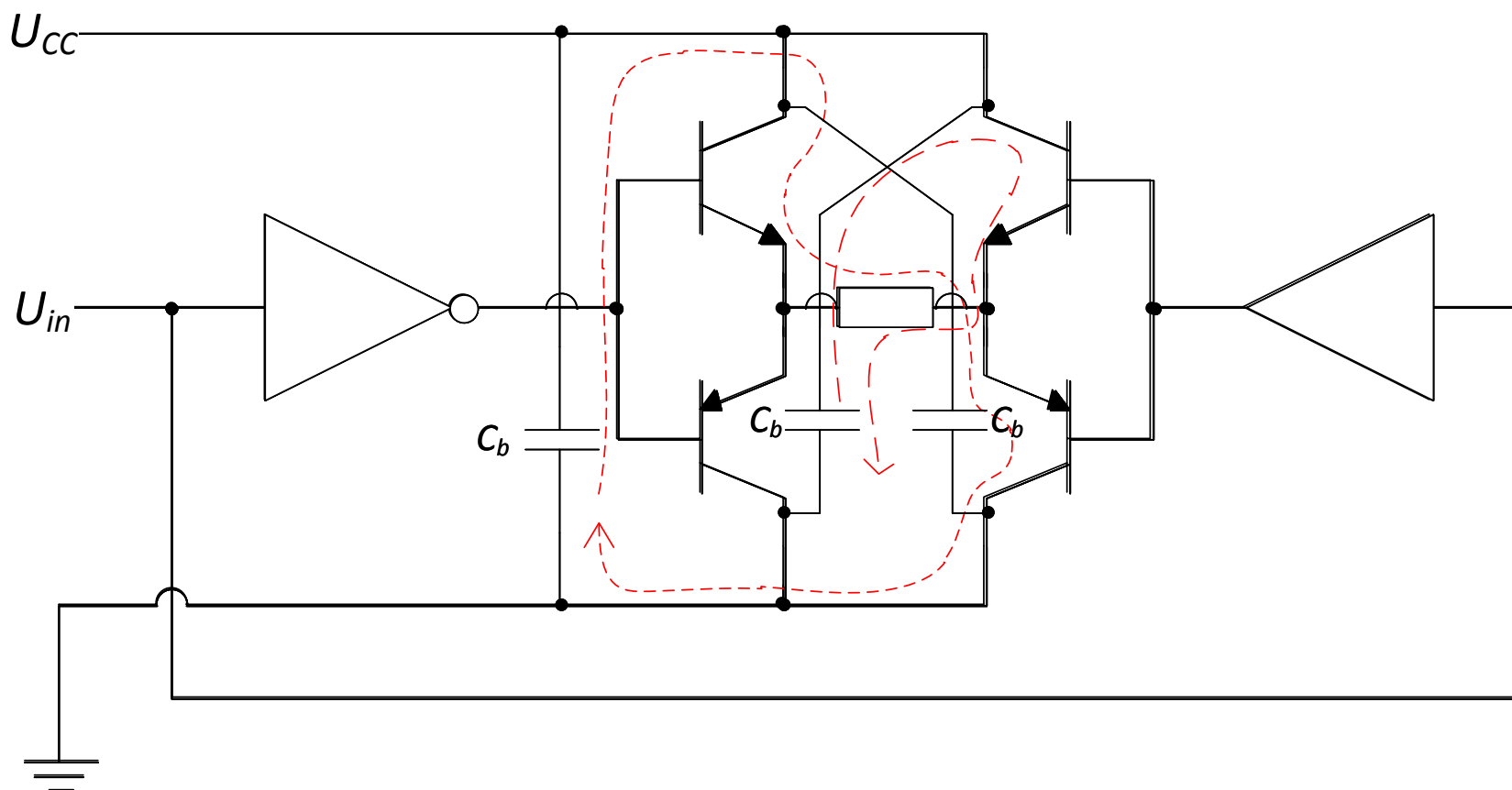
- Pri CMOS vezjih so ob preklopu hkrati odprti vsi tranzistorji, zato obstaja galvanska pot med obema poloma napajanja.
- Urin signal povzroči mnoge akcije v vezju. Hkrati preklopijo tako rekoč vsa vezja.
- Dolge vezi imajo parazitne sklope s sosednjimi signalnimi potmi, zato so visoke spektralne komponente potencialni viri presluha.
- Podobno velja za dovodne kable, kjer je presluh celo večji kot na ploščah tiskanega vezja.

Blokiranje s kondenzatorji

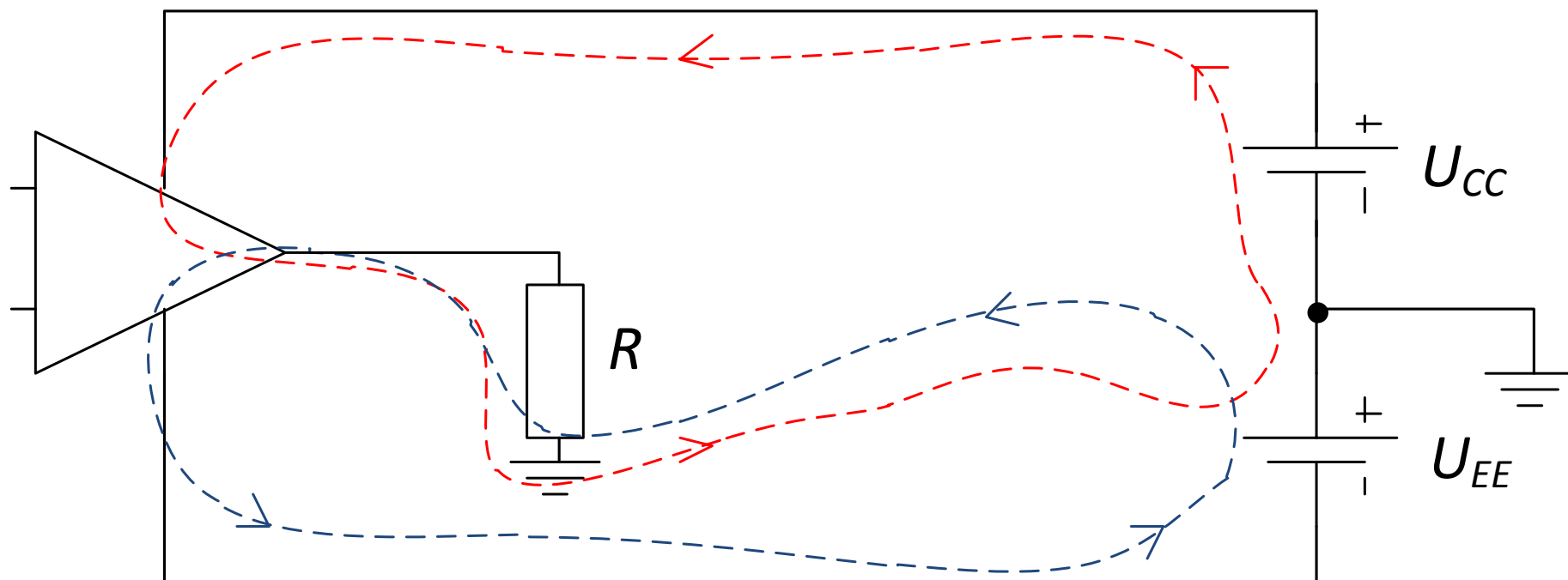
- Vzpostavitev dodatne visokofrekvenčne nizkoimpedančne poti za spreminjajoče tokove s pomočjo kondenzatorja
 - Pot naj se čim manj sklaplja z glavnimi napajalnimi linijami
 - Pot naj ima čim nižjo impedanco
 - Čim krajše linije
 - Uporaba več vzporedno vezanih kondenzatorjev



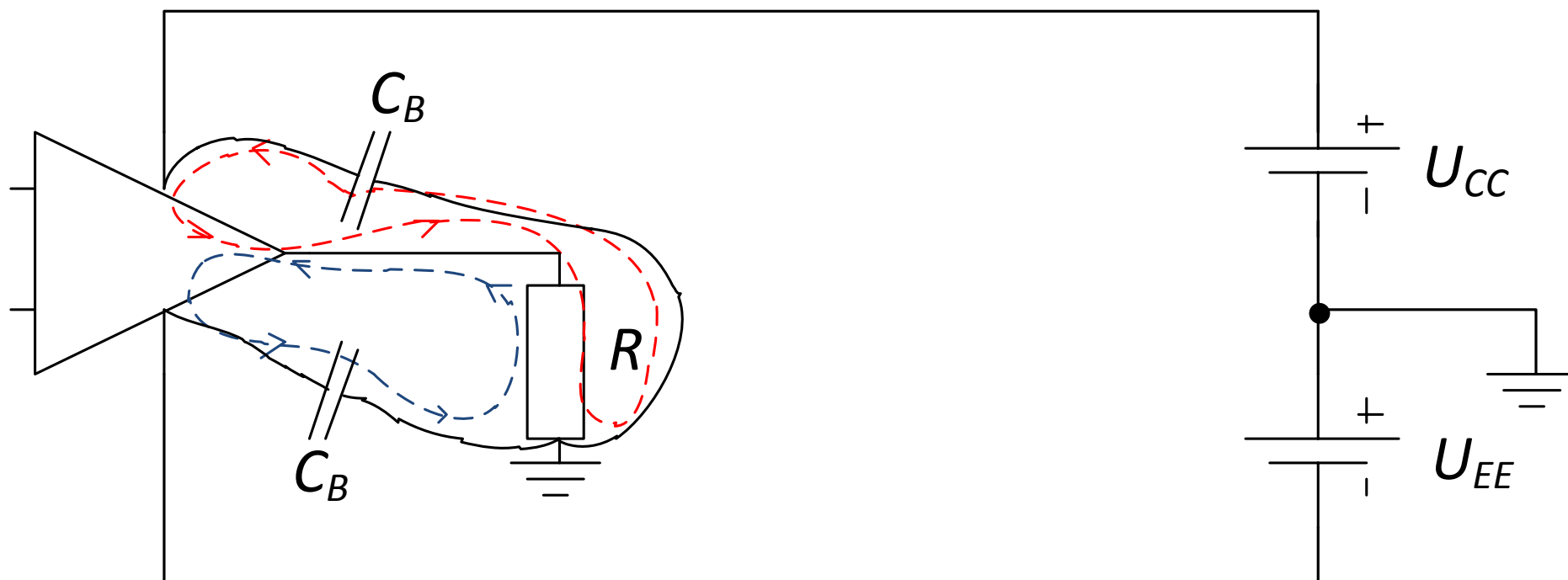
Postavitev blokirnega kondenzatorja



Postavitev blokirnega kondenzatorja



Postavitev blokirnega kondenzatorja



Blokiranje tokovnih sprememb

- Blokiranje napajanja digitalnih vezij je zagotavljanje naboja, ki ga ob preklopih elementi črpajo iz napajanja.

$$C_{\min} = \frac{\Delta Q}{\Delta U_{\max}} = \frac{I_q \Delta t}{\Delta U_{\max}}$$

- Ocenjena dopustna sprememba napajalne napetosti (ΔU_{DDmax}).
 - Za digitalna vezja s TTL 5V nivoji naj bo $\Delta U_{DDmax} = 100 \text{ mV}$.
- Ocena velikosti tokovnega sunka (ΔI_{max}). Pri analizi se predpostavi, da vsa vezja hkrati preklopijo in ob preklopih se vse parazitne kapacitivnosti napolnijo oziroma izpraznijo.

Blokiranje tokovnih sprememb

- V enačbi je n število kondenzatorjev pri preklopu, C je kapacitivnost posameznega parazitnega kondenzatorja in Δt je čas trajanja preklopa. Izračuni pokažejo, da takšni tokovni sunki neredko presegajo 1 A.

$$\Delta I_{\max} = n \cdot C \cdot \frac{\Delta U_{DD\max}}{\Delta t}$$

- Razmerje med dopustno spremembo napetosti ($\Delta U_{DD\max}$) in spremembo toka ($\Delta I_{\max}$) je največja dopustna impedanca napajanja.

$$Z_{\max} = \frac{\Delta U_{DD\max}}{\Delta I_{\max}}$$

Blokiranje tokovnih sprememb

- Impedanca napajanja izvira iz induktivnosti dovodov ($L_{dovodov}$) med virom in bremenom.
 - Analitično določanje ni preprosta naloga, zato meritev privede do zanesljivega in uporabnega rezultata.
 - $L_{dovodov}$ je v velikostnem razredu 100 nH.
- Iz največje dopustne impedance (Z_{max}) in induktivnosti dovodov se oceni mejna frekvenca (f_{mejna}), pod katero ima napajalnik z dovodi dovolj nizko impedanco.

$$f_{mejna} = \frac{\Delta U_{DD\max}}{\Delta I_{\max}} \cdot \frac{1}{2\pi L_{dovodov}}$$

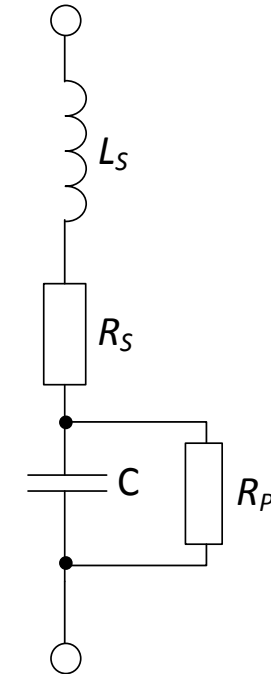
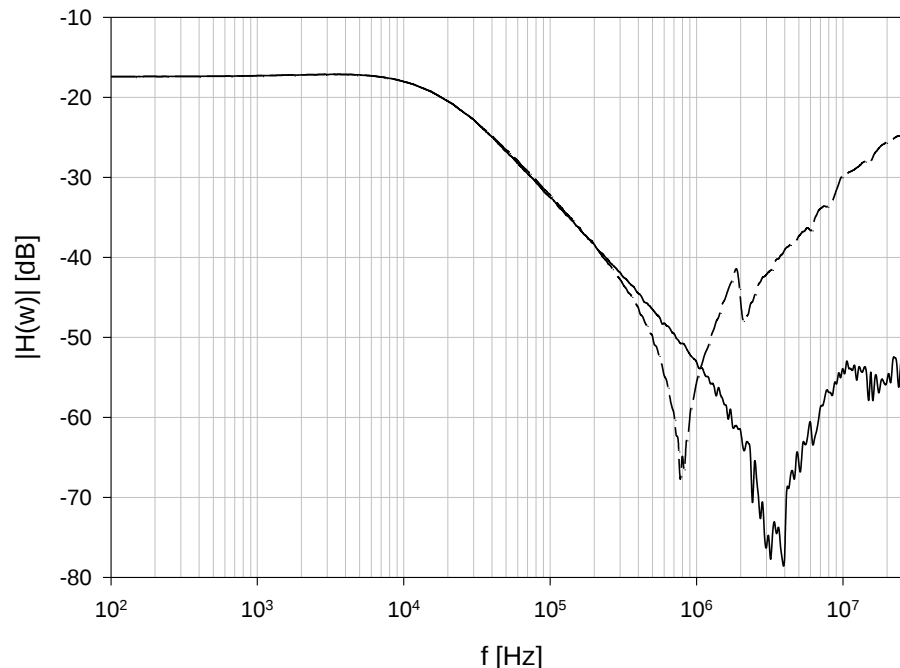
Blokiranje tokovnih sprememb

- Dodaten kondenzator (C) poskrbi, da ostane impedanca pod največjo dopustno vrednostjo tudi nad mejno frekvenco. Izračun njegove kapacitivnosti podaja spodnja enačba.

$$C = \frac{1}{Z_{\max} 2\pi f_{\text{mejna}}} = \left(\frac{\Delta I_{\max}}{\Delta U_{DD \max}} \right)^2 L_{\text{dovodov}}$$

Model kondenzatorja

- Nadomestno vezje kondenzatorja
 - Kapacitivna komponenta kondenzatorja povzroči, da je njegova impedanca s frekvenco upada.
 - Pri resonančni frekvenci prevlada impedanca parazitne induktivnosti.
- Pri nekaterih kondenzatorjih so dovodi glavni izvor parazitnih komponent.



$$f < f_{res} \rightarrow Z = j\omega C_P$$

$$f = f_{res} \rightarrow Z = R_S$$

$$f > f_{res} \rightarrow Z = j\omega L_S$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

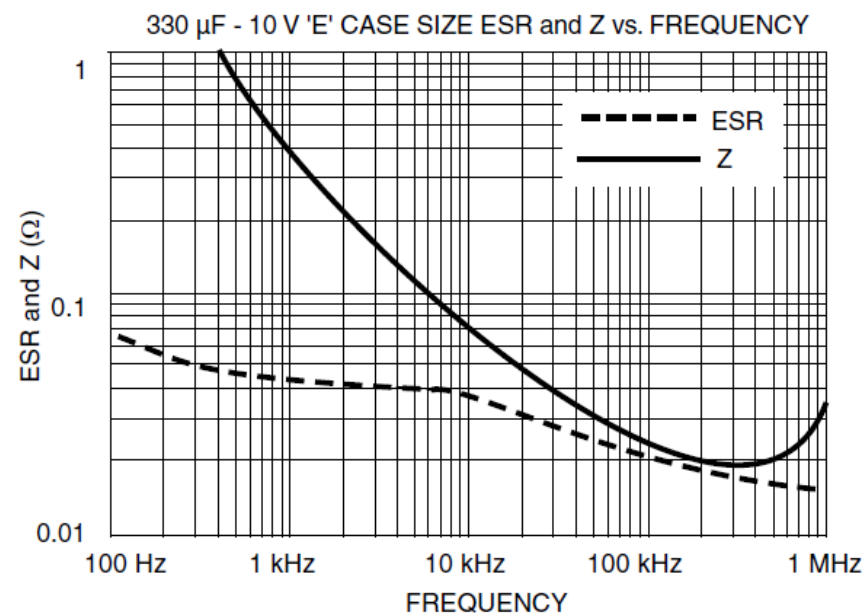
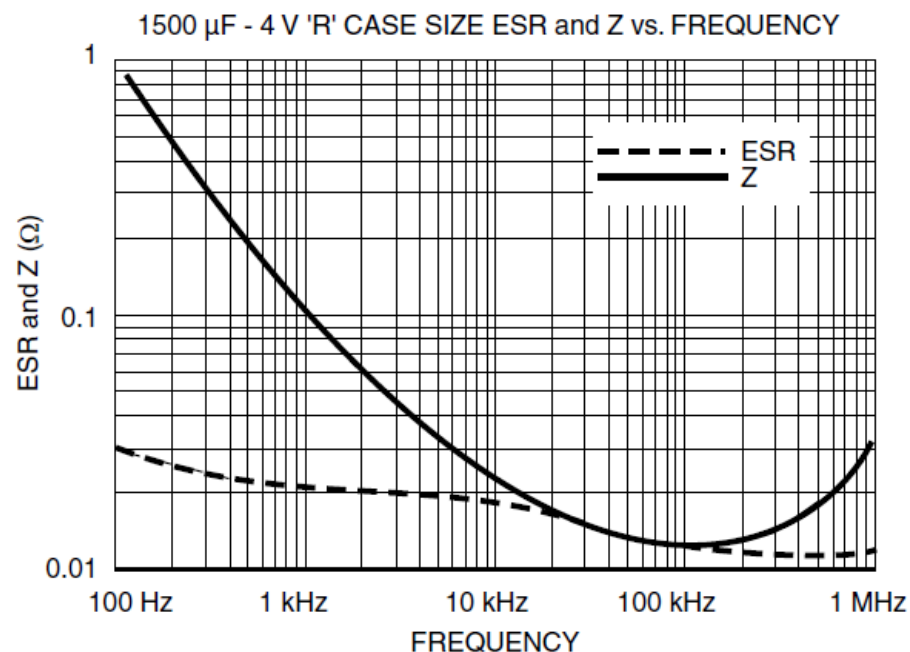
Podatki– standardni Aluminijevi C

ELECTRICAL DATA		ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION						
SYMBOL	DESCRIPTION	U_R (V)	C_R 100 Hz (μ F)	NOMINAL CASE SIZE L x W x H (mm)	I_R 100 Hz 85 °C (mA)	I_{L5} 5 min (μ A)	Tan δ 100 Hz	Z 10 kHz (Ω)
C_R	rated capacitance at 100 Hz (tolerance - 10 to + 50 % or $\pm$ 20 %)							
I_R	rated RMS ripple current at 100 Hz, 85 °C							
I_{L5}	max. leakage current after 5 minutes at U_R							
Tan δ	max. dissipation factor at 100 Hz							
Z	max. impedance at 10 kHz							
		6.3	10,0 22	8.8 x 3.7 x 3.9 11.9 x 3.7 x 3.9	11 20	3.1 3.3	0.30 0.30	20 9
		10	6.8 15	8.8 x 3.7 x 3.9 11.9 x 3.7 x 3.9	10 18	3.1 3.3	0.25 0.25	24 11
		16	4.7 10	8.8 x 3.7 x 3.9 11.9 x 3.7 x 3.9	9 16	3.2 3.3	0.20 0.20	26 12

ADDITIONAL ELECTRICAL DATA		
PARAMETER	CONDITIONS	VALUE
Voltage		
Surge voltage for short periods		$U_s \leq 1.15 \times U_R$
Reverse voltage		$U_{rev} \leq 1 \text{ V}$
Current		
Leakage current	after 1 minute at U_R	$I_{L1} \leq 0.02 C_R \times U_R + 3 \mu\text{A}$
	after 5 minutes at U_R	$I_{L5} \leq 0.002 C_R \times U_R + 3 \mu\text{A}$
Inductance		
Equivalent series inductance (ESL)	nominal case size 8.8 x 3.7 x 3.9 mm	typ. 11 nH
	nominal case size 11.9 x 3.7 x 3.9 mm	typ. 13 nH
Resistance		
Equivalent series resistance (ESR)	calculated from tan δ_{max} and C_R (see Table	$ESR = \tan \delta / 2 \pi f C_R$

Podatki– „Low ESR“ Tantalovi C

ELECTRICAL DATA	
SYMBOL	DESCRIPTION
U_R	rated voltage
C_R	rated capacitance at 120 Hz
$\tan \delta$	max. dissipation factor at 120 Hz
R_{ESR}	max. equivalent series resistance at 120 Hz
I_R	rated alternating current at 120 Hz and upper category temperature
Z	max. impedance at 100 kHz



Multilayer keramični kondenzator

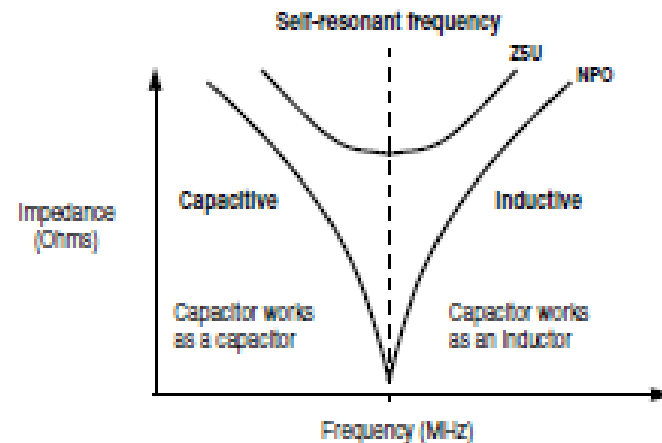
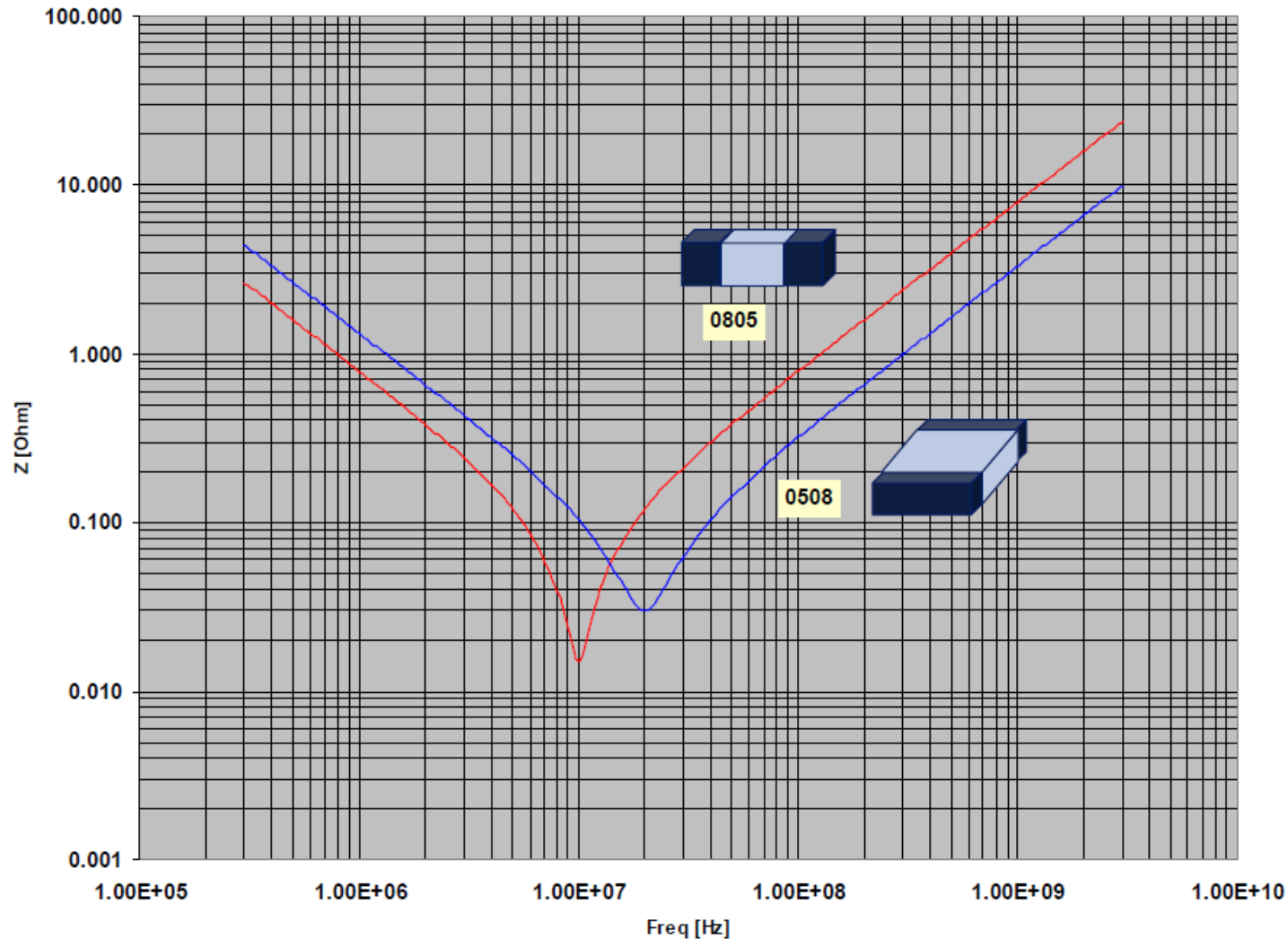


Figure 3. Impedance and Different Dielectric Materials

Table 1. Capacitor Self-Resonant Frequencies

Capacitor Value	Through-hole (0.25 leads)	Surface mount (0805)
1.0 μF	2.5 MHz	5 MHz
0.1 μF	8 MHz	16 MHz
0.01 μF	25 MHz	50 MHz
1000 pF	80 MHz	160 MHz
100 pF	250 MHz	500 MHz
10 pF	800 MHz	1.6 GHz

Multilayer keramični kondenzator



Resonančne frekvence kondenzatorjev

- Veliki kondenzatorji imajo induktivnosti dovodov in notranje induktivnosti, zato so resonance nizko.
- Če f_{res} blokirnih kondenzatorjev sovpadajo s spektrom signala, ali so pod njim, se dušenje izmenične napetosti zmanjša.
 - Težave se omili, če se poleg velikega kondenzatorja doda manjšega z višjo vrednostjo f_{res} .
- Resonančna frekvenca keramičnega kondenzatorja 100 nF in priključki 5 mm, je približno 5 MHz.
 - Zaradi manjših dimenzij so resonančne frekvence SMD komponent desetkrat višje.
- Induktivna komponenta je v glavnem posledica priključkov in ni odvisna od kapacitivnosti kondenzatorja.

Vzporedne kombinacije kondenzatorjev

- Povečevanje kapacitivnosti kondenzatorja ne učinkuje, če je spekter nad resonančno frekvenco.
 - **Blokiranje je boljše z dodajanjem vzporednih kondenzatorjev.**
- Če je dodani kondenzator priključen s približno enako dolgimi dovodi kot osnovni, se skupna impedanca razpolovi (včasih dovolj).
- Pri vzporedni vezavi ni treba uporabljati enako velikih kondenzatorjev, kapacitivnost dodanega je lahko opazno manjša.

Ugodni učinki

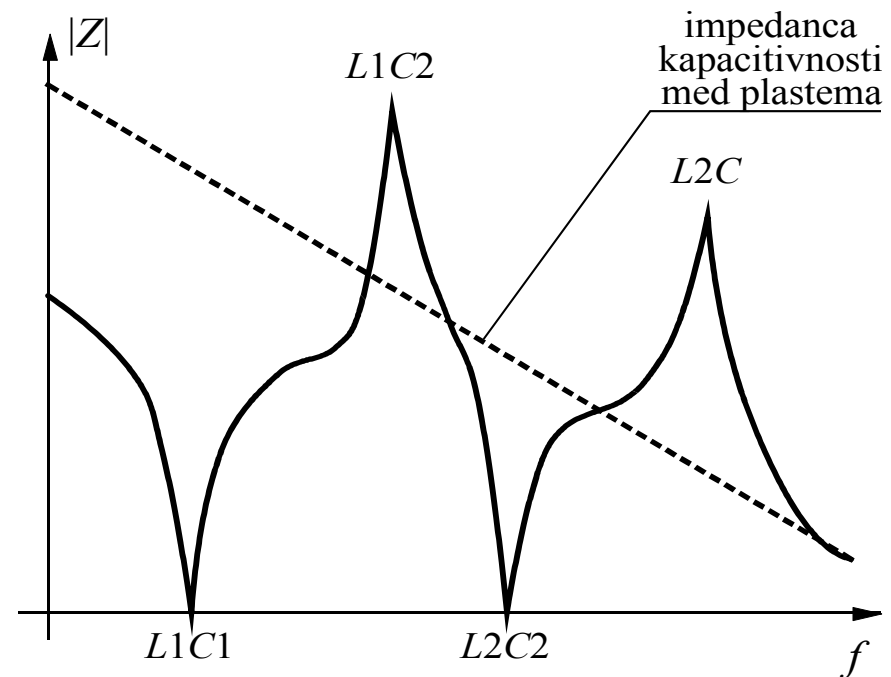
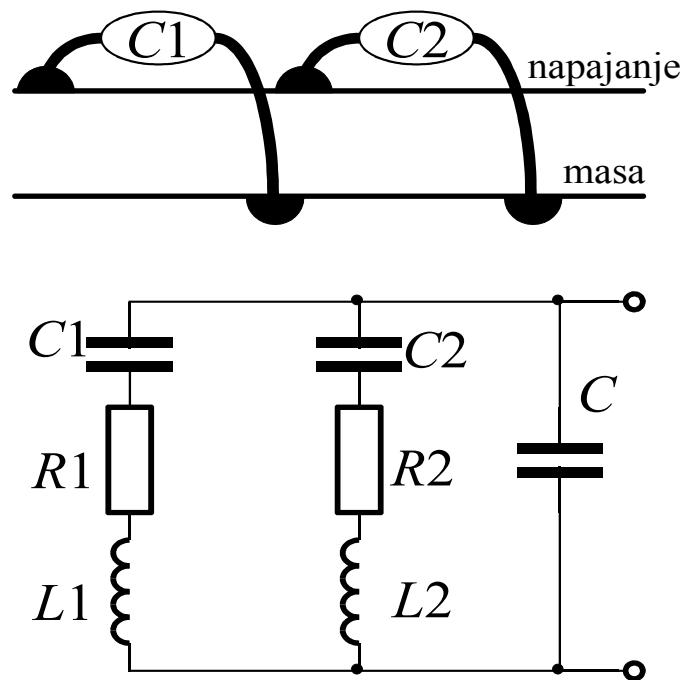
- Kondenzator z manjšo kapacitivnostjo
 - je načelno cenejši od kondenzatorja z večjo
 - ima manjšo lastno induktivnost.
 - torej signale zelo visokih frekvenc celo bolje duši kot večji.
- Vzporedna vezava dveh kondenzatorjev učinkuje samo pri popolnoma ločenih dovodih napajanj.
 - V nasprotnem je med priključka obeh kondenzatorjev vstavljena ista induktivnost, ki nad resonanco predstavlja pretežni del impedance.

Neugodni učinki

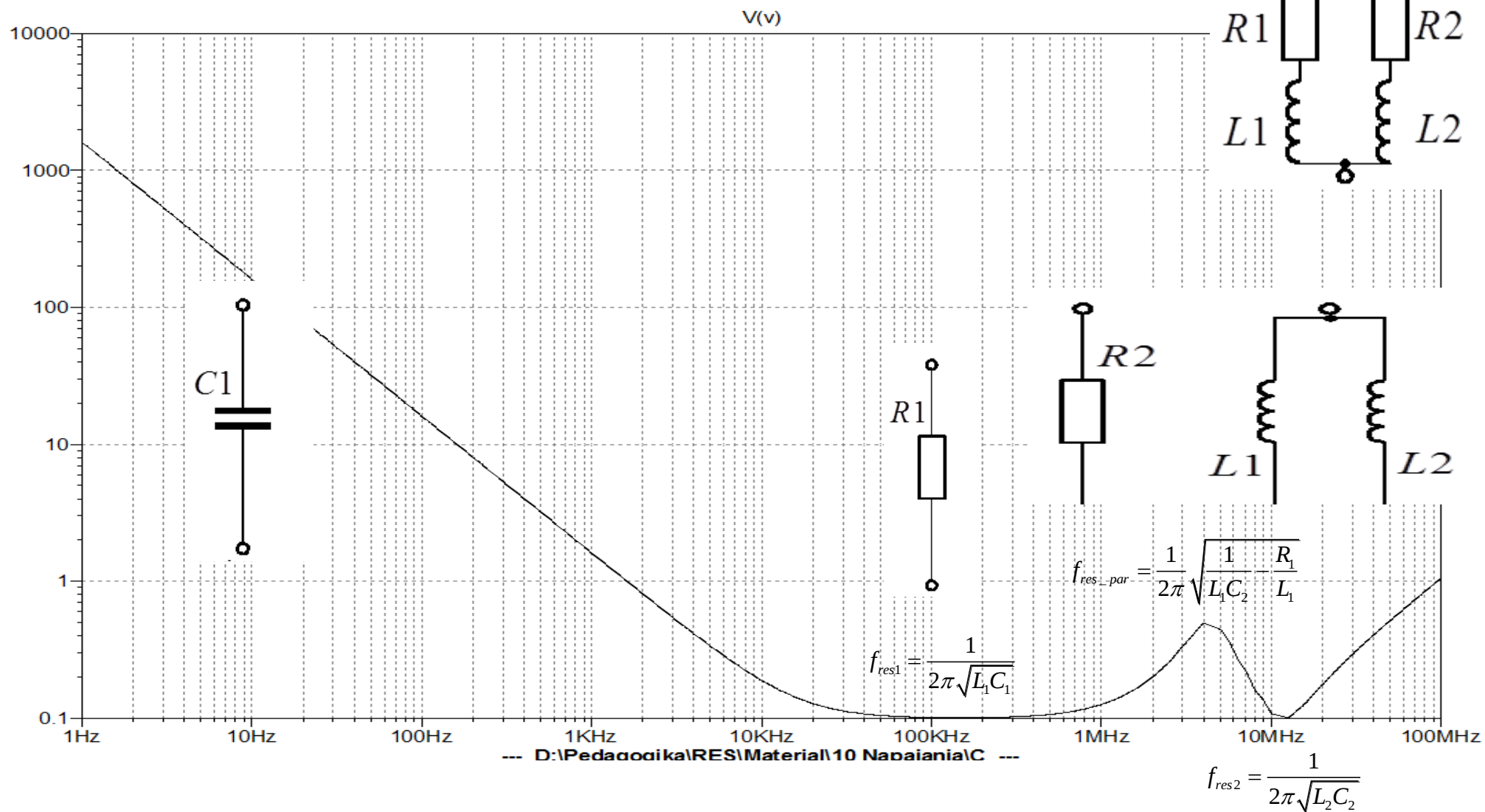
- Paralelne resonance
- Primer:
 - Kapacitivnost levega naj bo znatno večja od kapacitivnosti desnega ($C1 \gg C2$).
 - Predpostavimo, da sta njuni parazitni induktivnosti v istem velikostnem razredu, vendar je pri večjem kondenzatorju nekoliko večja ($L1 > L2$).
 - Upoštevajmo, da sta upornosti kondenzatorjev približno enaki ($R1 \approx R2$).

Primer

- Vezje, pri katerem je napajanje blokirano z dvema različno velikima kondenzatorjema ($C1$, $C2$) in kapacitivnostjo med plastema tiskanega vezja (C).



Paralelna resonanca dveh C



Kapacitivnost med napajalnima plastema

- Že danes hitra vezja generirajo spektralne komponente, ki se nahajajo nad resonančnimi frekvencami kondenzatorjev.
 - Diskretni kondenzatorji ne zagotovijo zadostnega blokiranja.
- Sosednji plasti na TIV lahko tvorita kondenzator za blokiranje napajanja, če je razdalja med njima v razredu desetine milimetra.
 - Kapacitivnost tega kondenzatorja je v velikostnem razredu nekaj nF. $C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$
 - Plast ima majhno serijsko induktivnost in serijsko upornost.
- Med sosednjima plastema se ustvari odličen kondenzator.
 - Resonančna frekvenca kondenzatorja, ki ga tvorita napajalni plasti, je od 200 MHz do 400 MHz.

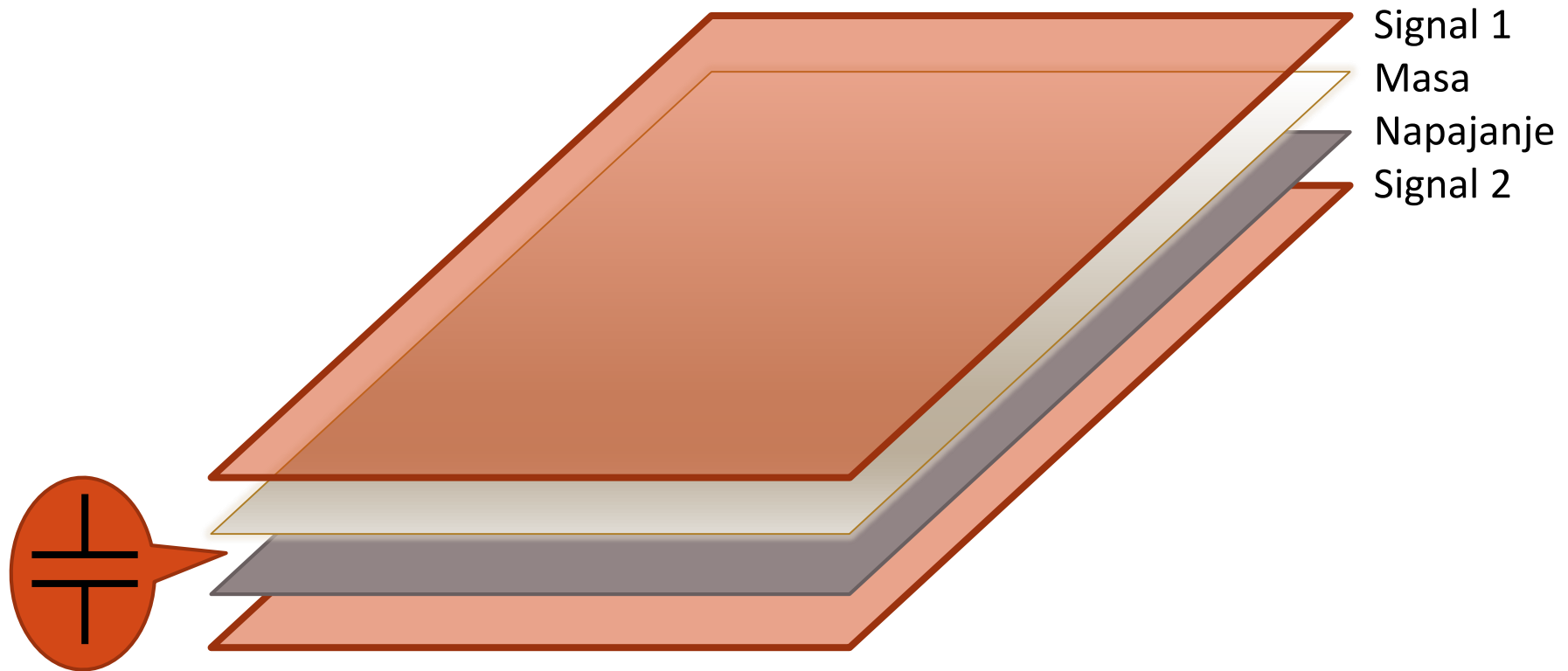
Problem paralelne resonance

- Kapacitivnosti med plastmi se vedno doda diskretne kondenzatorje 100 nF, ki prevzemajo večje tokovne sunke.
 - Serijske resonance diskretnih blokirnih kondenzatorjev so razmeroma nizke.
- Kombinacija kapacitivne plasti in diskretnih kondenzatorjev za blokiranje tvorijo tudi paralelne resonance.
 - Če so frekvence paralelnih resonanc blizu procesorjeve ure ali višjih harmonskih komponent, se ne dušijo in širijo se v okolico.
- Na kondenzatorju, ki ga tvorita plast napajanja in mase tiskanega vezja, se v paralelni resonanci lahko pojavlja razmeroma velika izmenična napetost.
 - Zaradi velike površine sta tedaj prevodni plasti znaten vir sevanja.

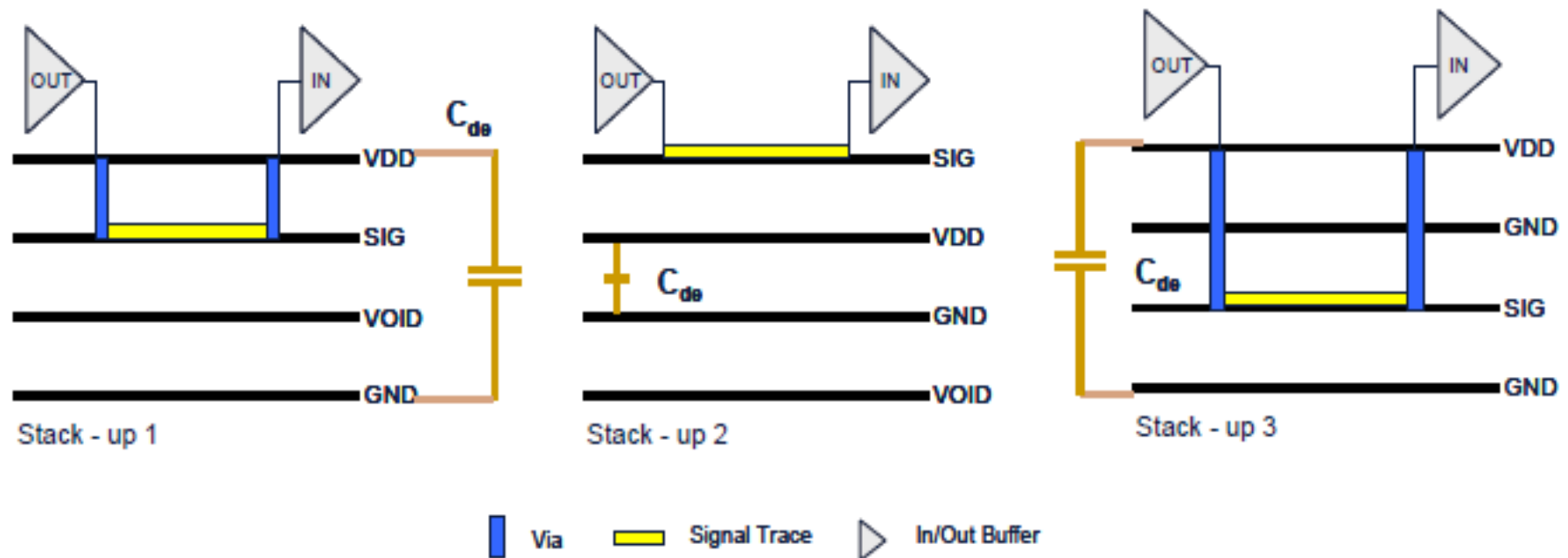
Napajalne plasti

- Pri večplastnih ploščah se vsaj dve prevodni plasti pusti neokrnjeni.
- Učinek polnih prevodnih plasti je trojen:
 - Ploskve delujejo kot zrcalne ravnine, ki usmerjajo povratne tokove, s čimer omejujejo sevanje plošče.
 - Če je plast mase na gosto povezana z ohišjem, ne seva. Podobno kot ohišje učinkuje polna prevodna plast na zunanji strani tiskanega vezja.
 - Tretji razlog za vgrajevanje prevodnih plasti je opisano blokiranje napajanja, ki ga omogoča kapacitivnost med napajalno plastjo in maso.
- Na vse tri omenjene funkcije prevodnih plasti vpliva njihov razpored.
- Pogosto ni isti razpored optimalen za vse vrste vezij.
- Povrhu velja, da povečanje števila plasti omili neželene signale, toda podraži vezje: kompromisi!

Optimalna razporeditev plasti



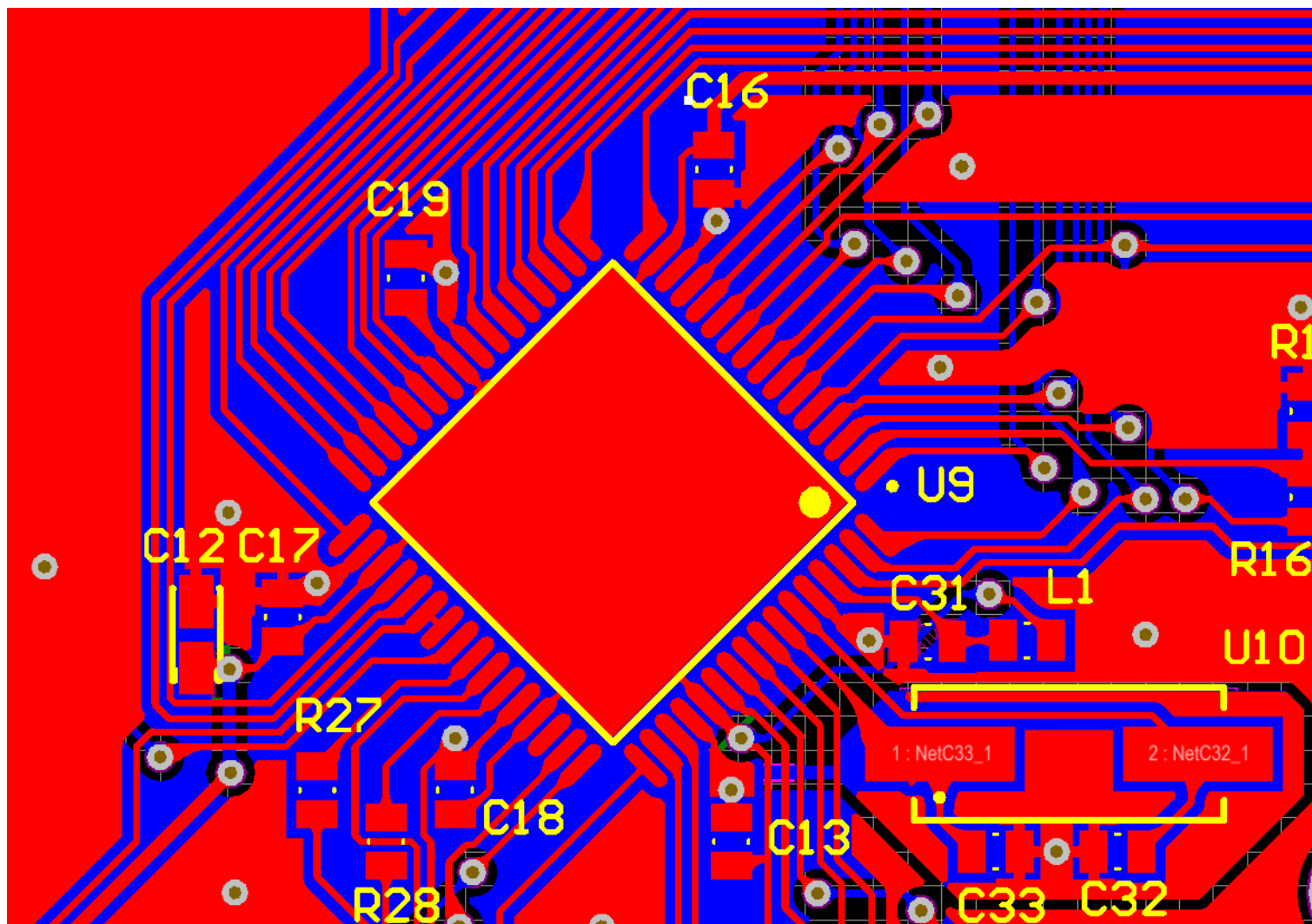
Možne lokacije signalnih plasti na večplastnem vezju



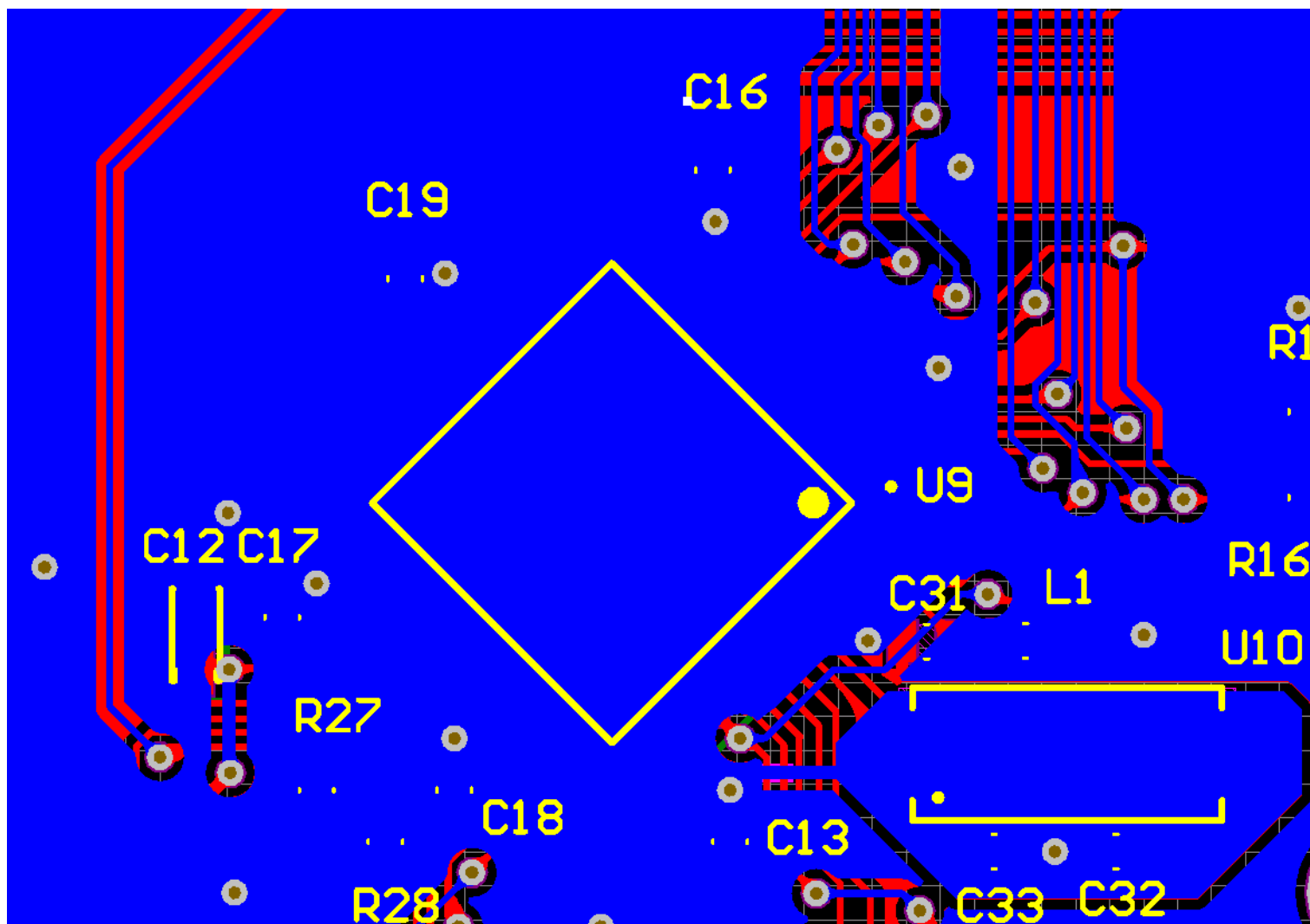
Izbira optimalne strukture plasti PCB

Število plasti	Namen plasti								Lastnosti
	1	2	3	4	5	6	7	8	
2	S1	S2							za nizke frekvence (< 15 MHz)
4	S1	G	P	S2					ni vedno optimalna glede EMC
6	S1	G	S2	S3	P	S4			za srednje hitra vezja
6	S1	S2	G	P	S3	S4			kritični signali naj bodo na S2
6	S1	G	S2	P	G	S3			optimalna glede razmerja EMC
8	S1	S2	G	S3	S4	P	S5	S6	hitri signali naj bodo na S2 in S3
8	S1	G	S2	G	P	S3	G	S4	najboljša kombinacija glede EMC

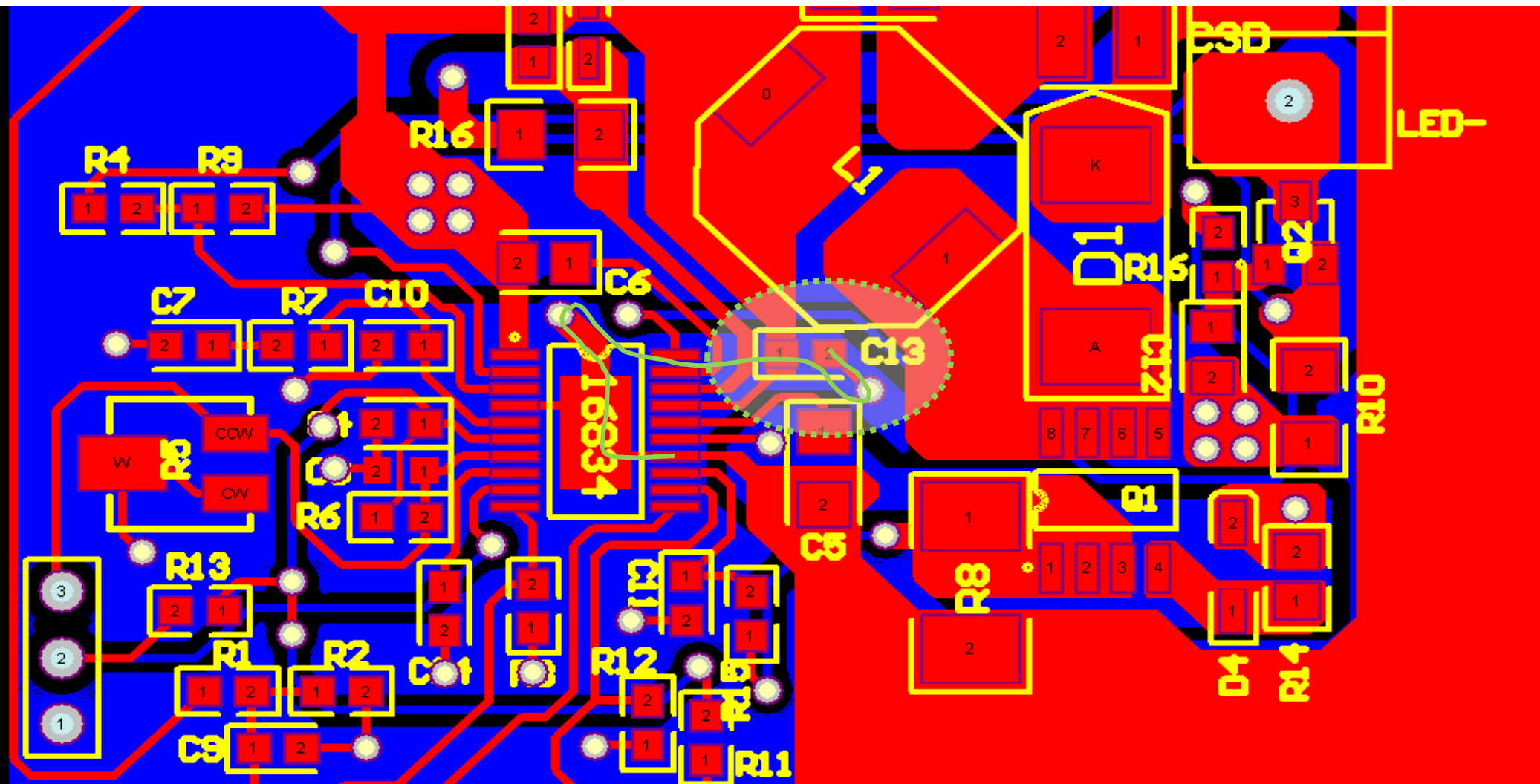
Povezava mase in napajanja mikroprocesorja

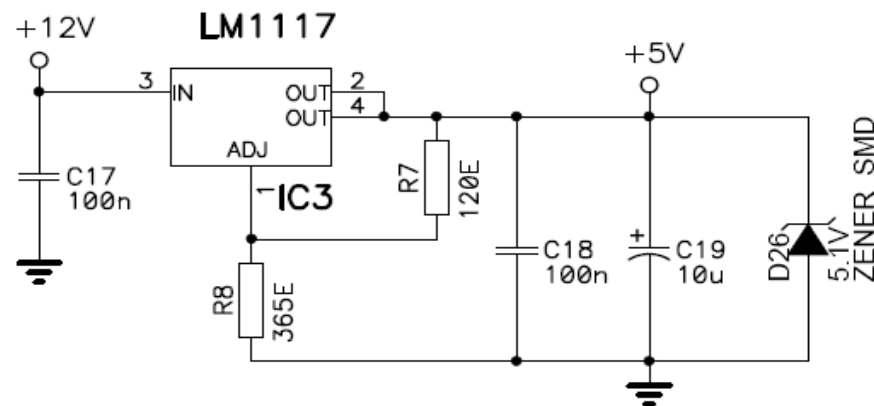
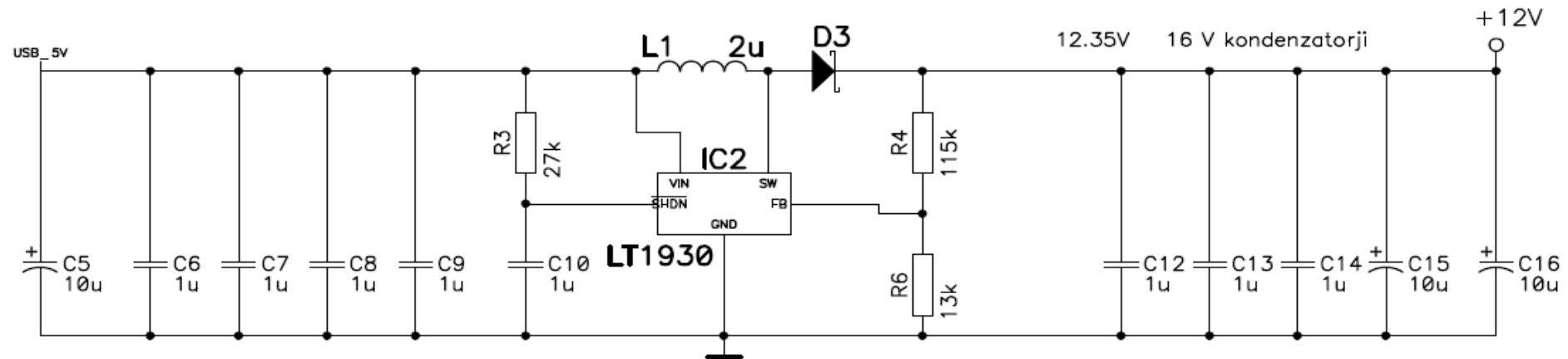


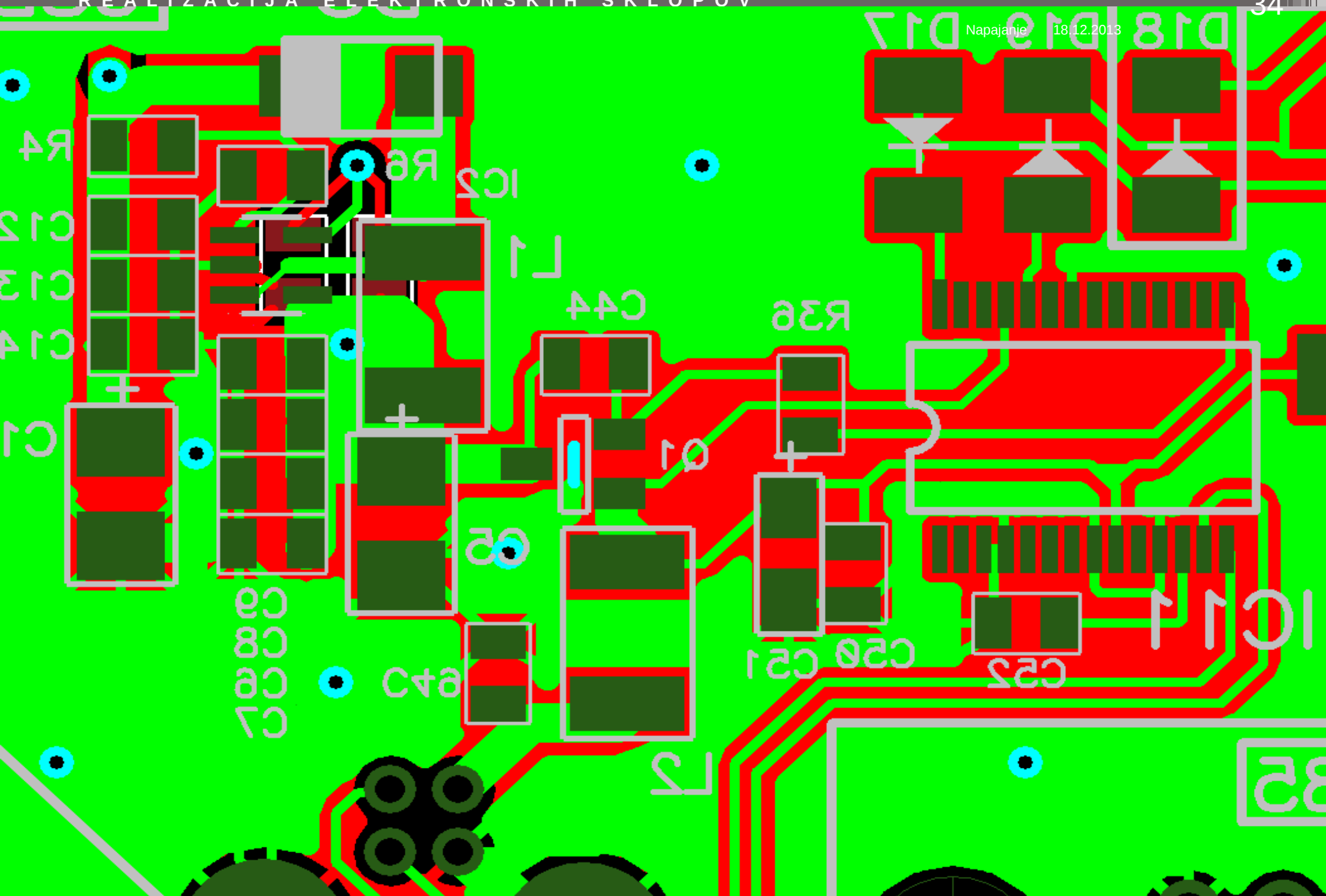
Povezava mase in napajanja mikroprocesorja



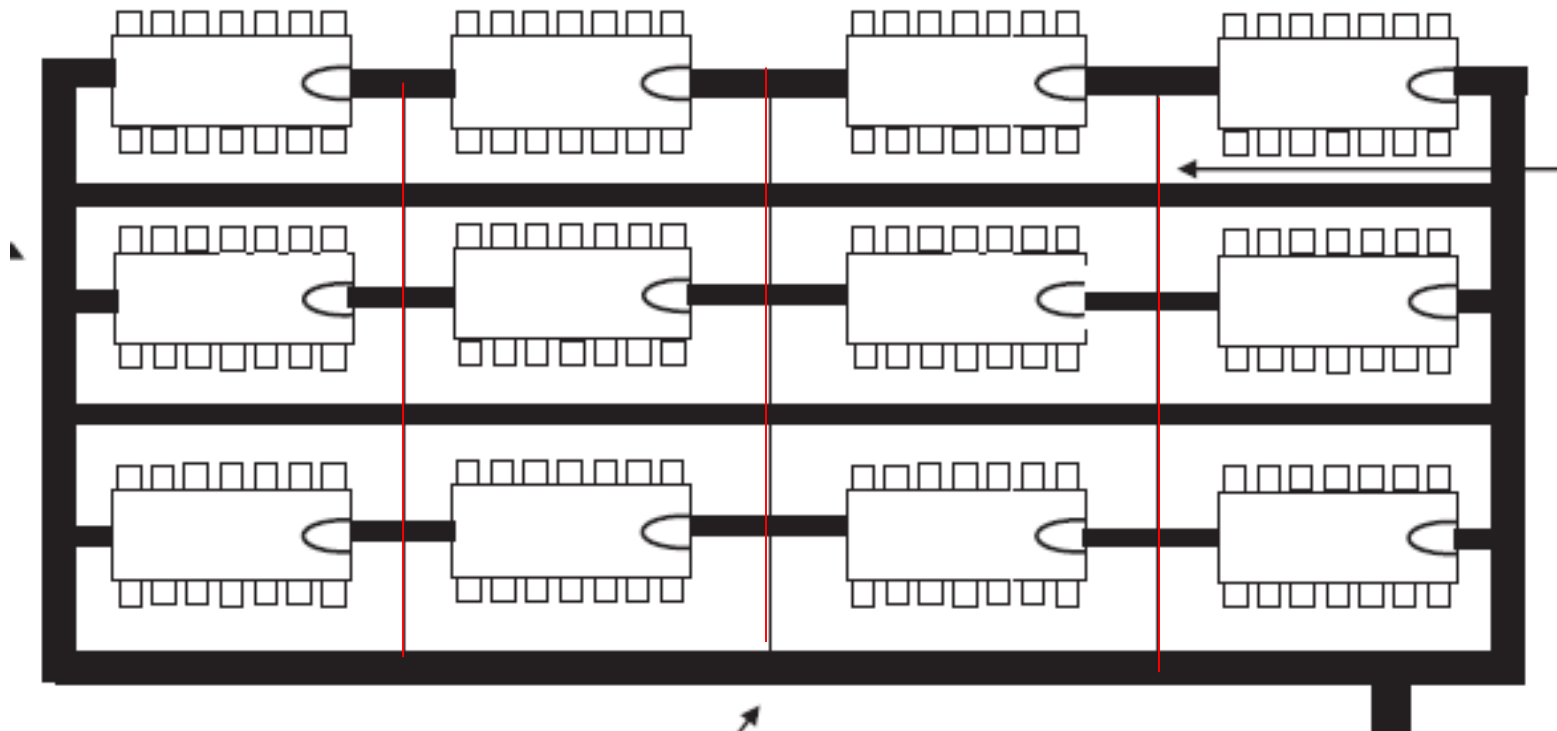
Primer predolge povezave blokirnega kondenzatorja do mase čipa





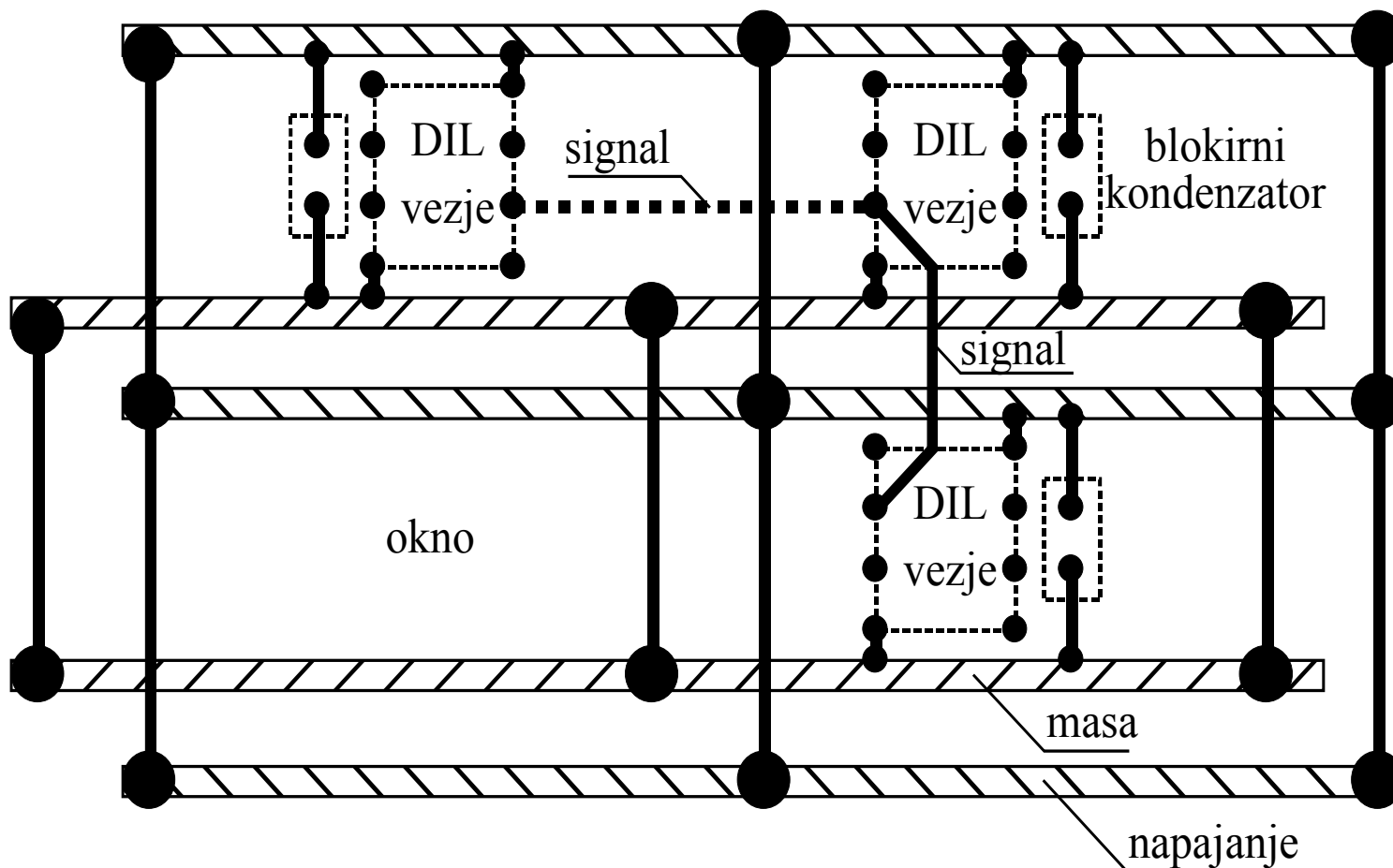


Mreža mas v digitalnem vezju (gridding)

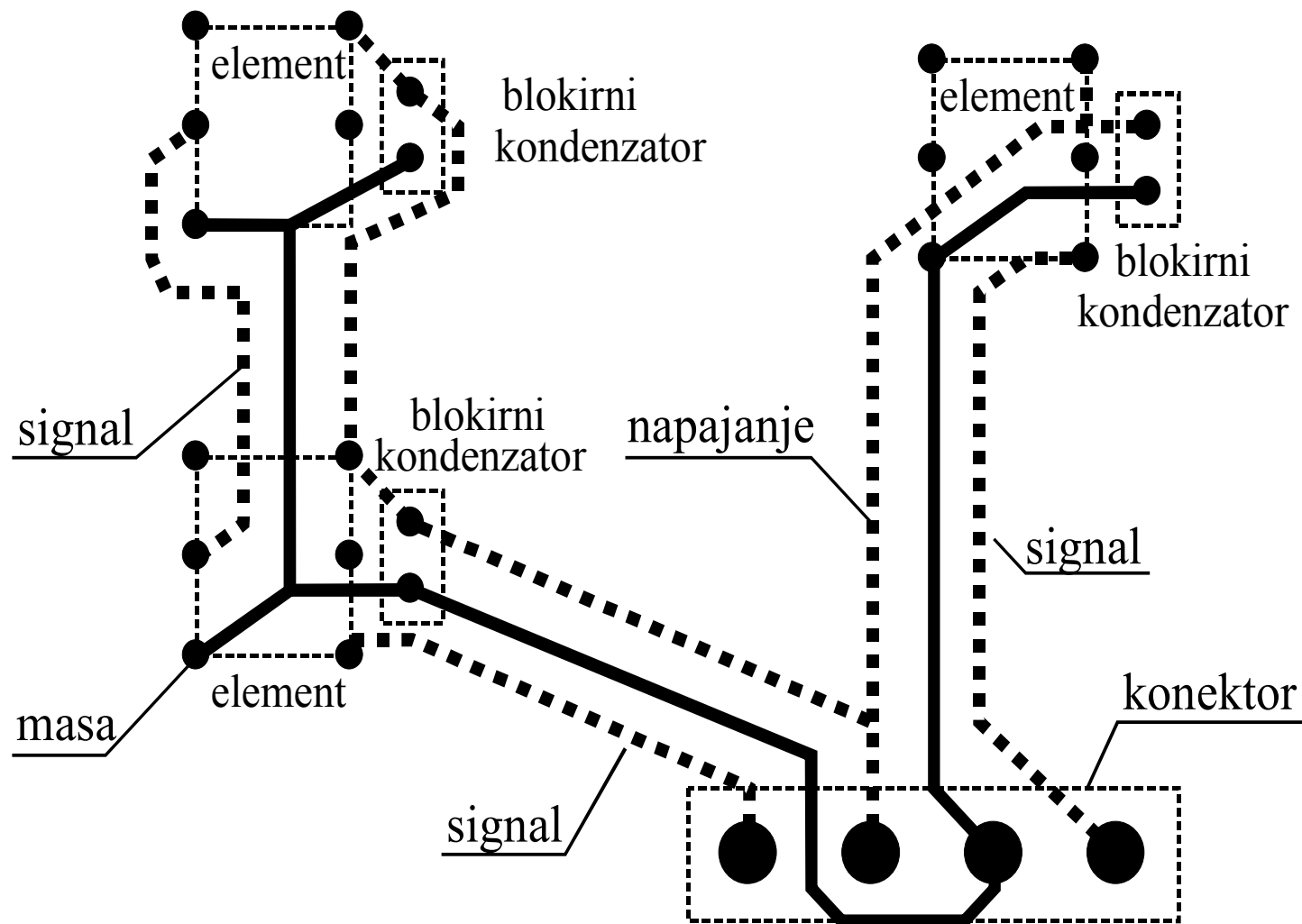


Vir: Henry W. Ott: Electromagnetic compatibility engineering

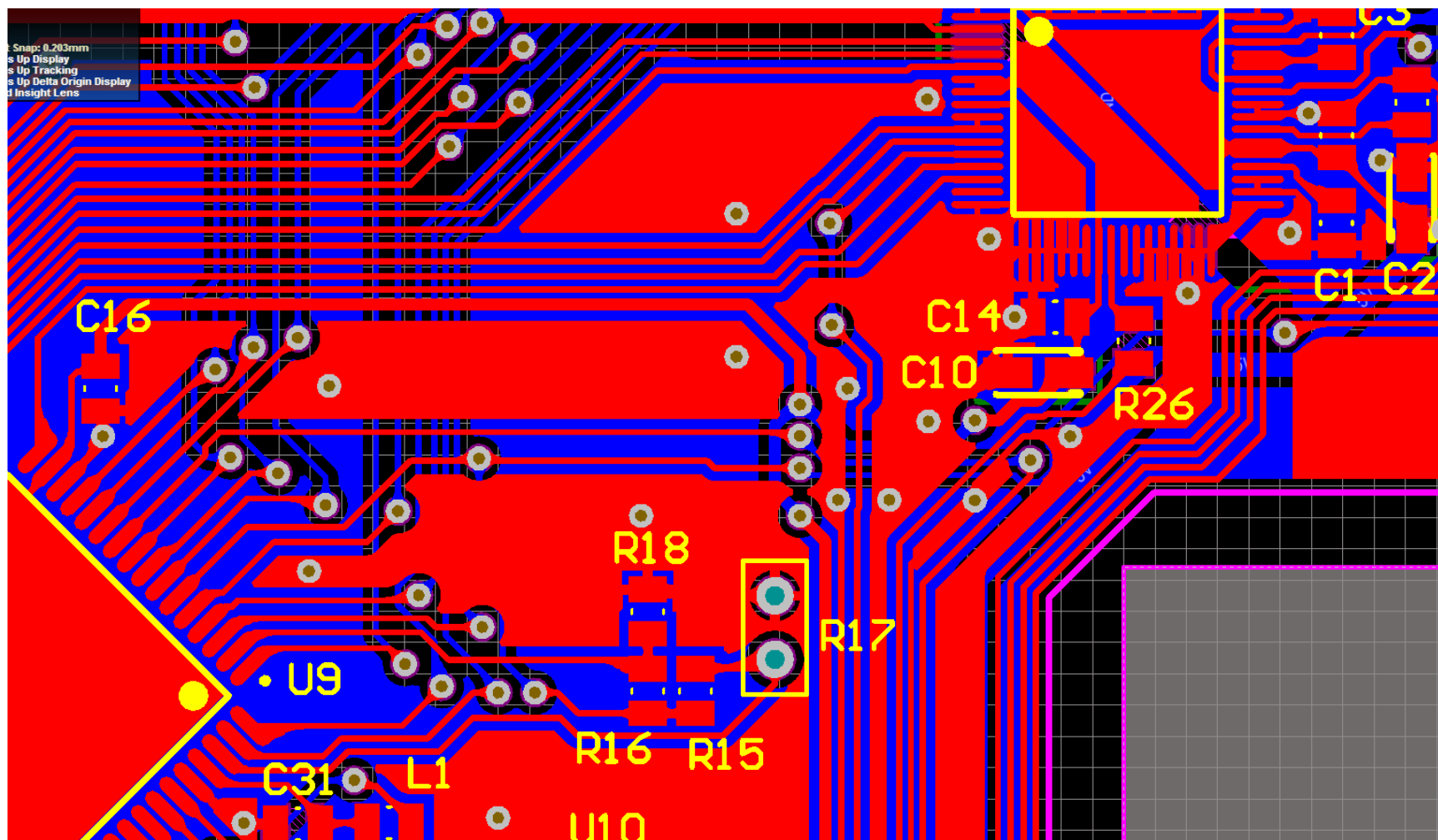
Ortogonalni razvod signalov na dvoplastnih vezjih



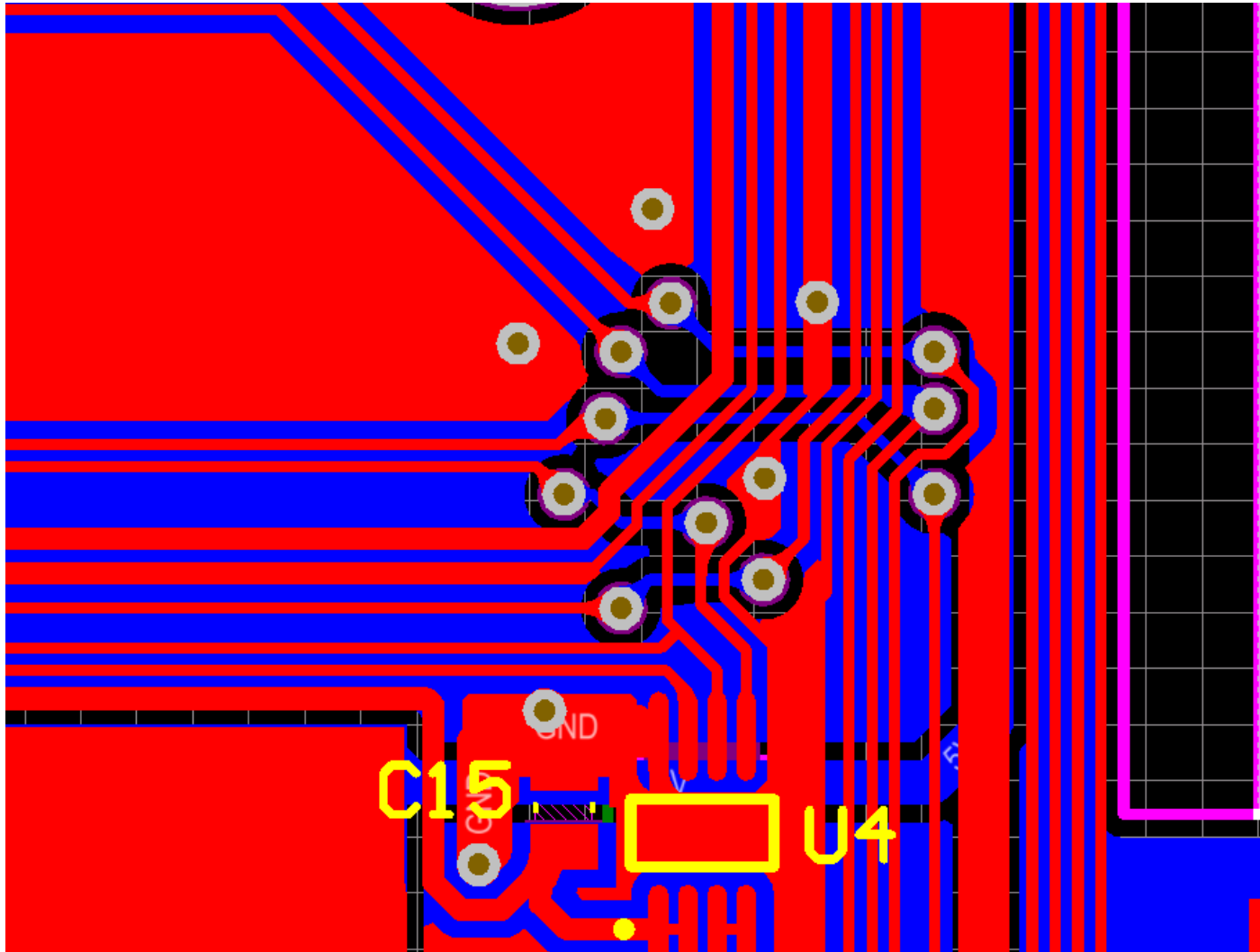
Radialni razvod signalov na dvoplastnih vezjih



Primer vzpostavljanja mreže mase



Primer vzpostavljanja mreže mase



Primer vzpostavljanja mreže mase

