

Načrtovanje elektronike za

EMC<sup>2</sup>

študentska delavnica  
in tekmovanje



FE

UNIVERZA V LJUBLJANI  
Fakulteta za elektrotehniko



Laboratorij za fotovoltaike  
in optoelektroniko

ponedeljek, 24. februar  
2025 ob 16:15 v P3-C0

FORVIA



prijave:



INSTRUMENTATION  
TECHNOLOGIES



iskraemeco  
BY ELSEWEDY ELECTRIC

KOLEKTOR



MAHLE



CORSAIR

svet  
ELEKTRONIKE



GEMmotors

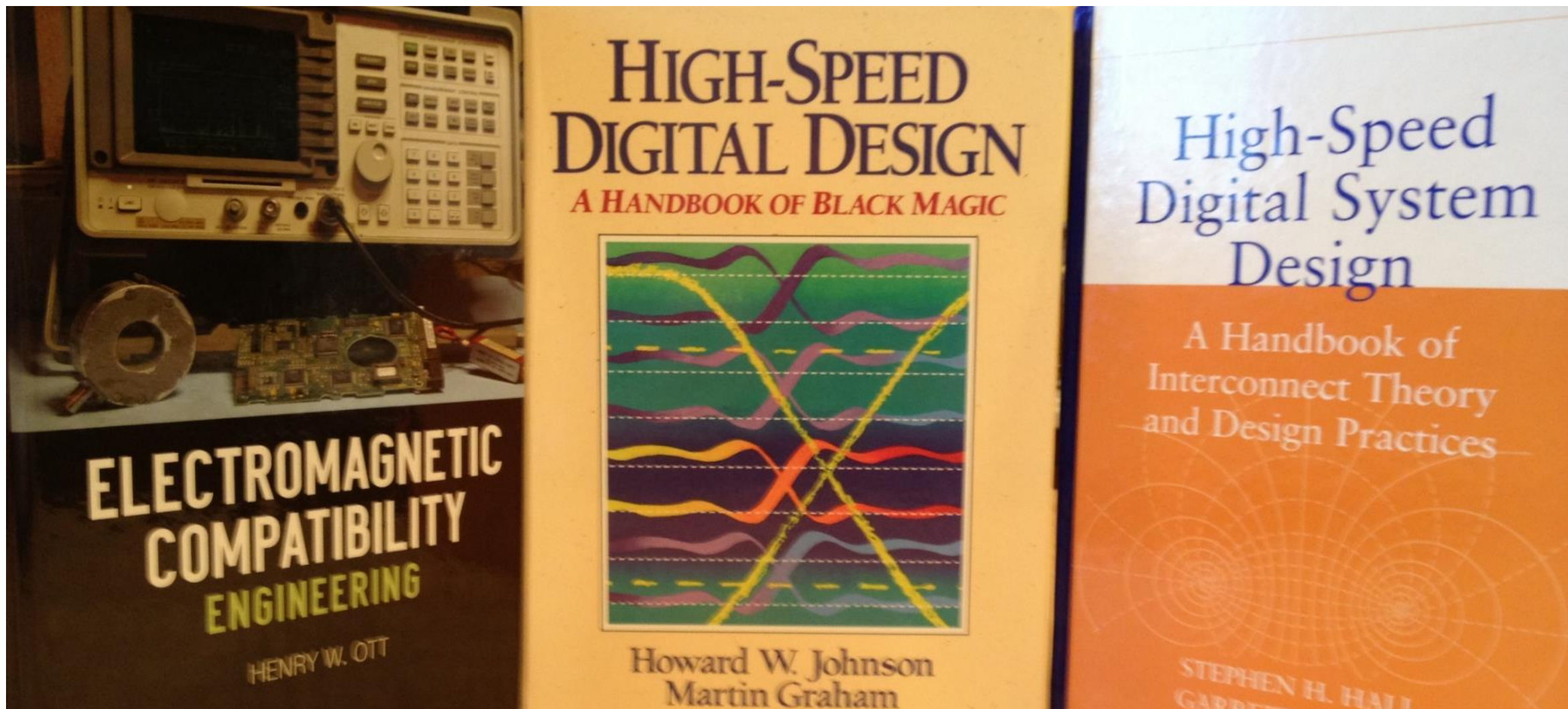


WURTH  
ELEKTRONIK  
MORE THAN  
YOU EXPECT



INTECTIV

# Čemu?





Študentska delavnica in tekmovanje

# Načrtovanje elektronike za EMC<sup>2</sup>



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko

Katedra za elektroniko



Laboratorij za fotovoltaike  
in optoelektroniko



MAHLE

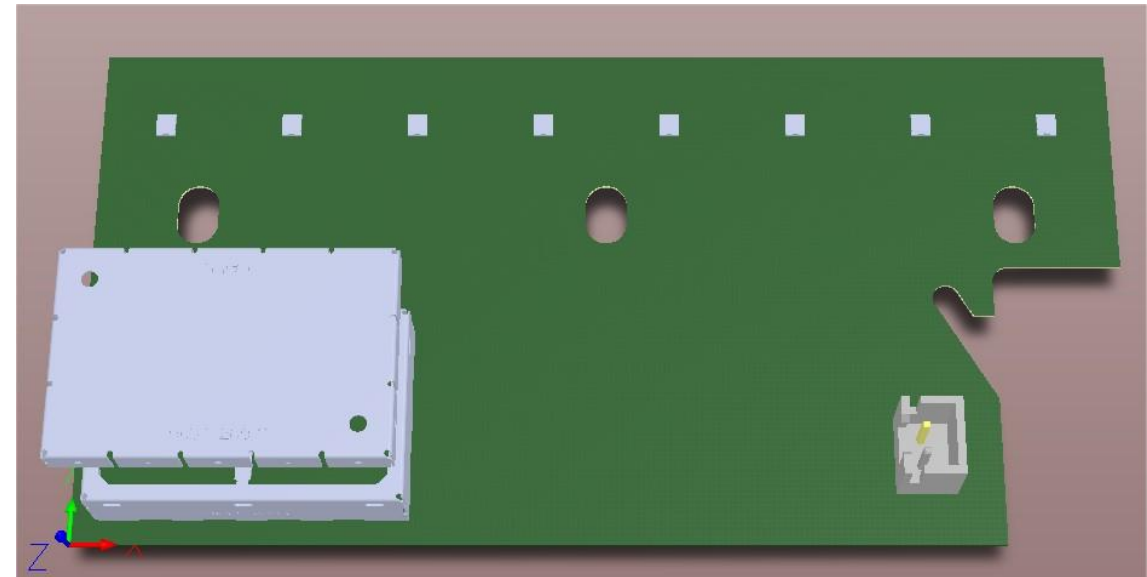
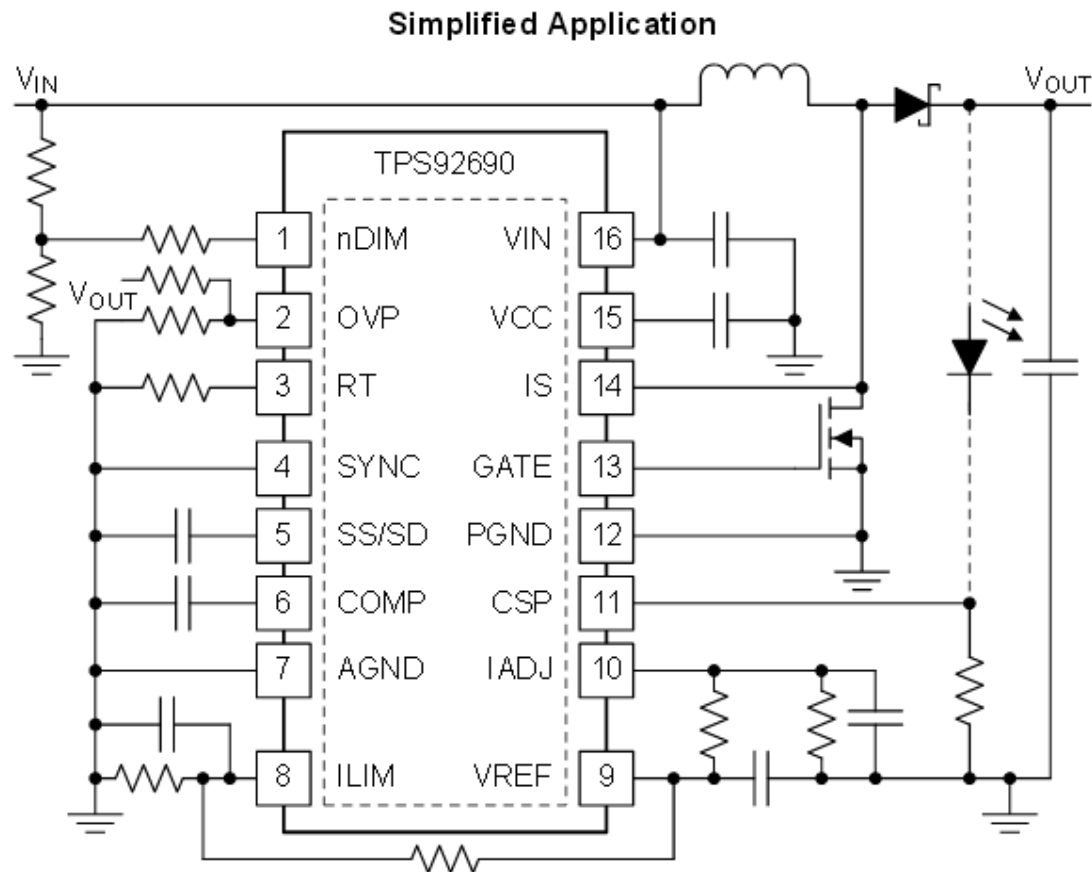


TEXAS INSTRUMENTS

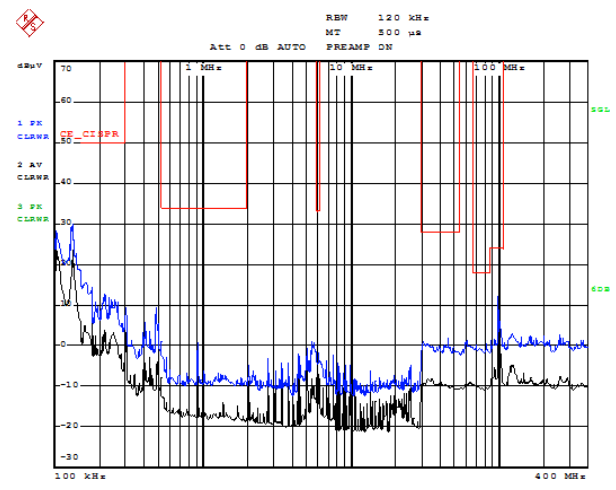


**Vsaka sreda 17-19h v P3!**

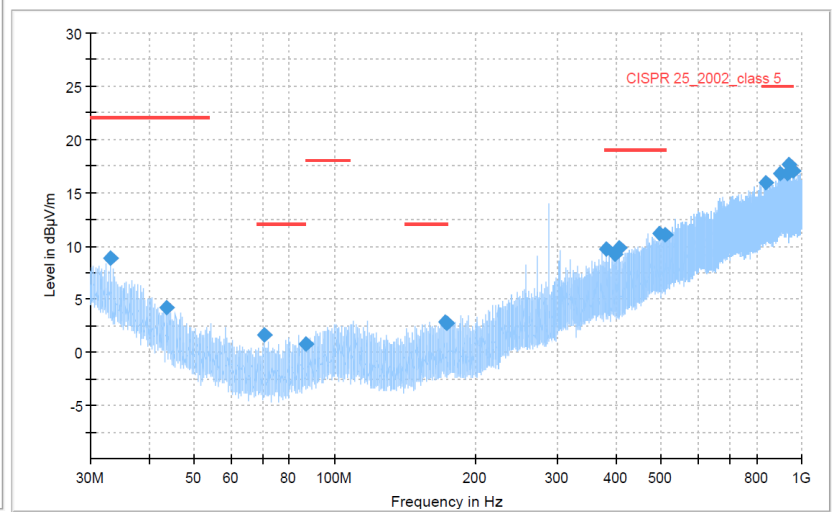
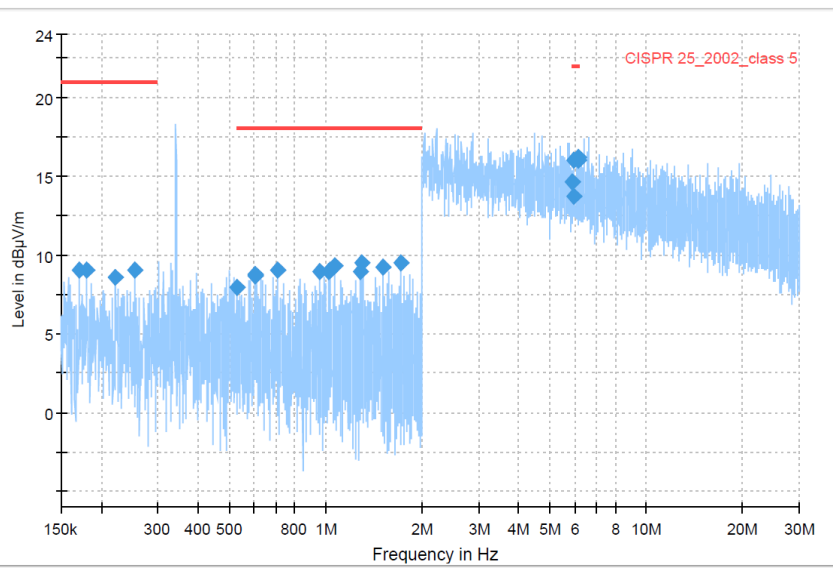
# Stikalni napajalnik za LED



# Zmagovalec



Urban Gregorc





# Načrtovanje elektronike za EMC<sup>2</sup>

7. 5. 2024



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko  
Katedra za elektroniko



Laboratorij za fotovoltaike  
in optoelektroniko

ISKRAEMECO



KEYSIGHT  
TECHNOLOGIES



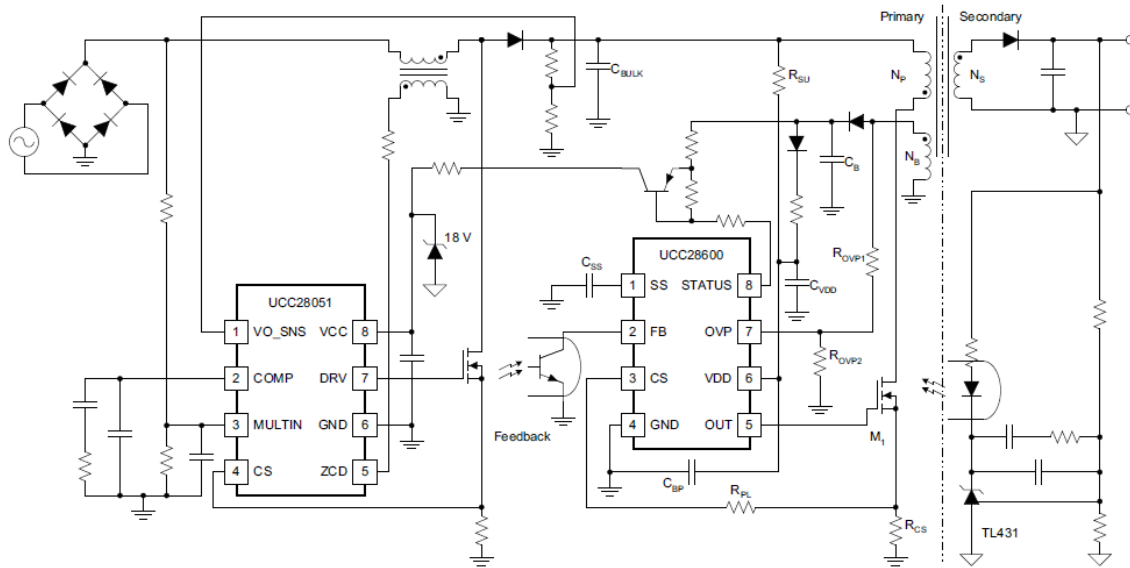
TEXAS INSTRUMENTS



MAHLE

sreda, 8. 3. 2017 ob 17h v P3-C0

# Flyback stikalni napajalnik iz 230V na 20V



UCC28600  
(MOS)

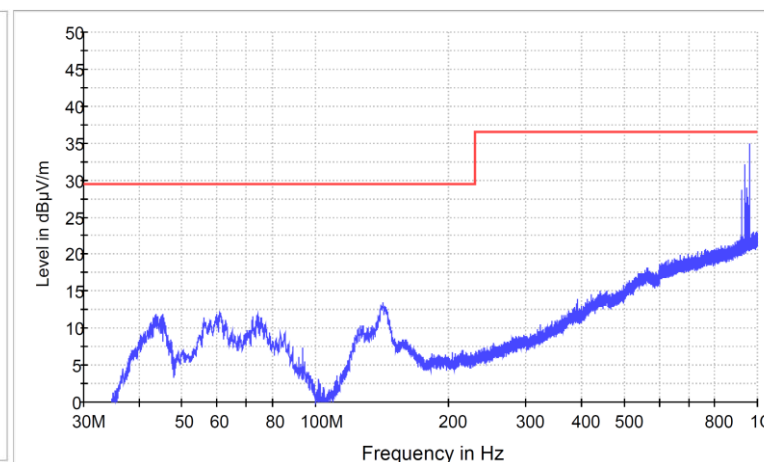
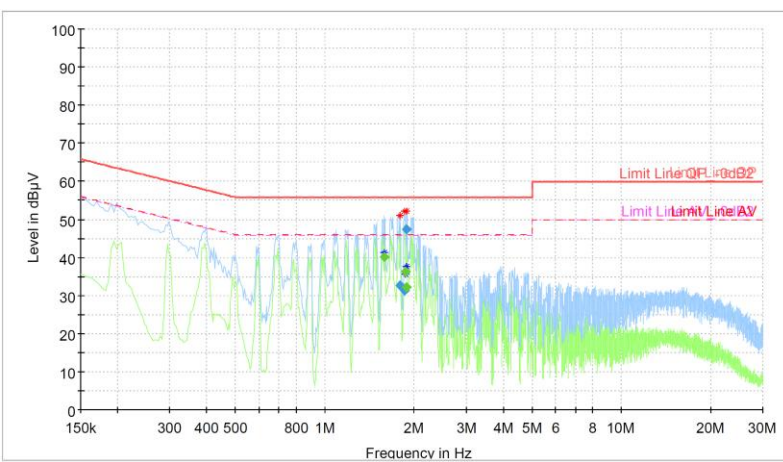
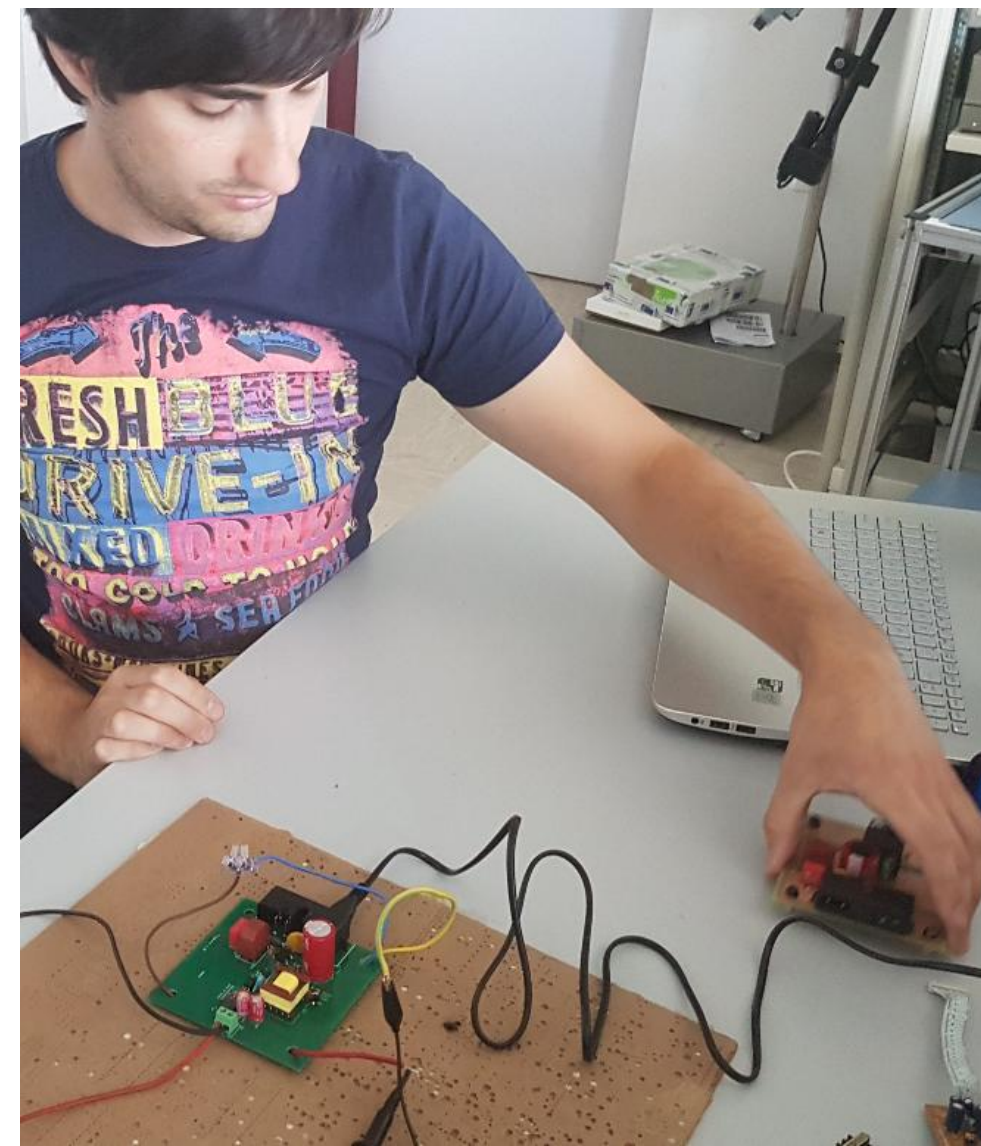
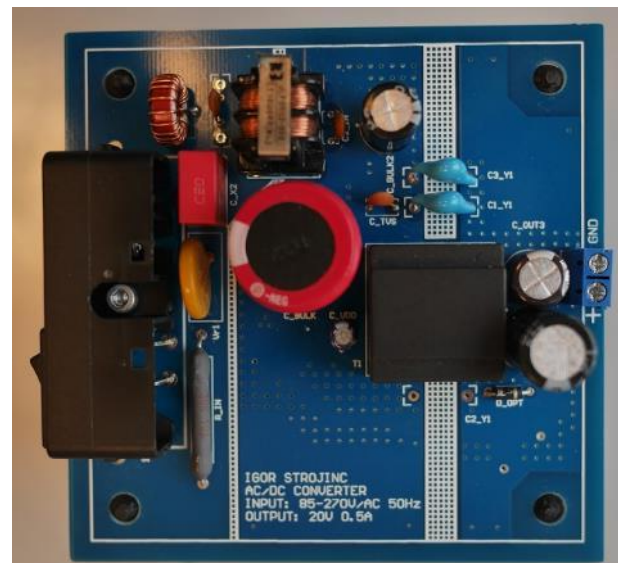
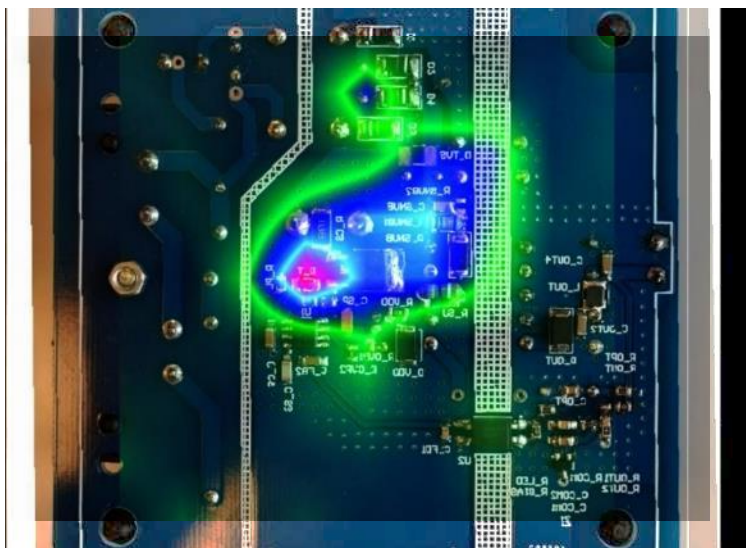
UCC28720  
(BJT)





# Zmagovalec

Igor Strojinc







# Načrtovanje elektronike za

# EMC

M. Jan

024

2



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za *elektrotehniko*  
Katedra za *elektroniko*



Laboratorij za fotoniko  
in optoelektroniko

# MAHLE



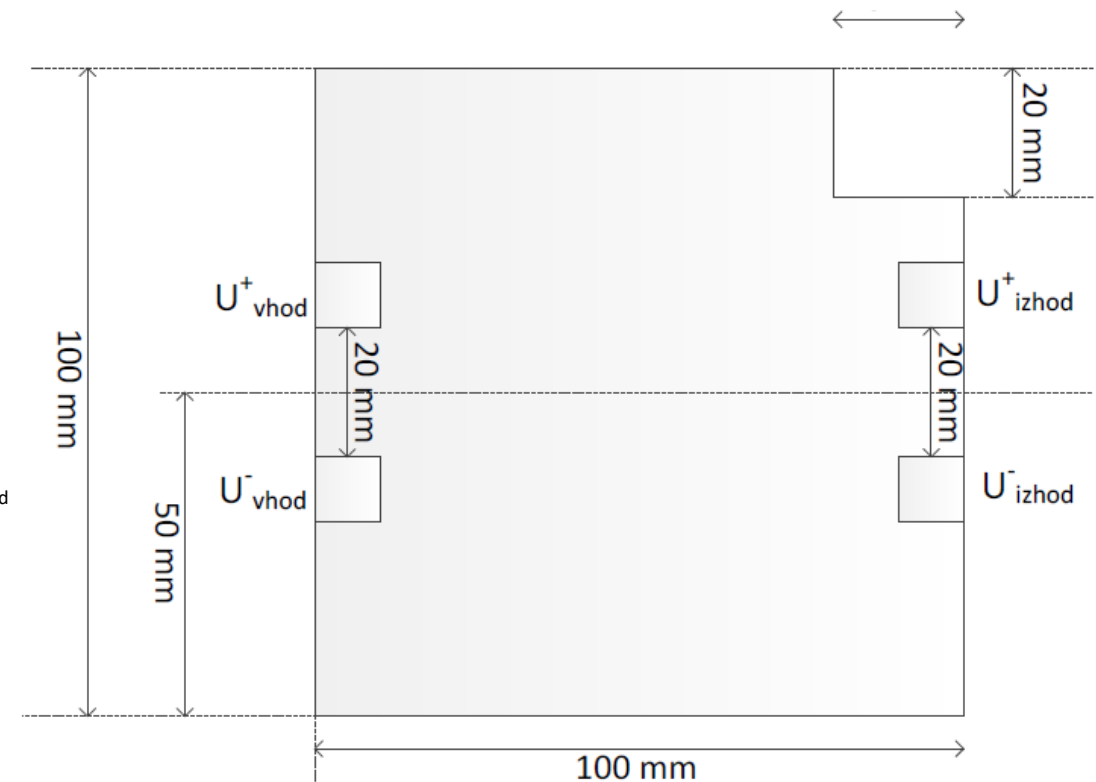
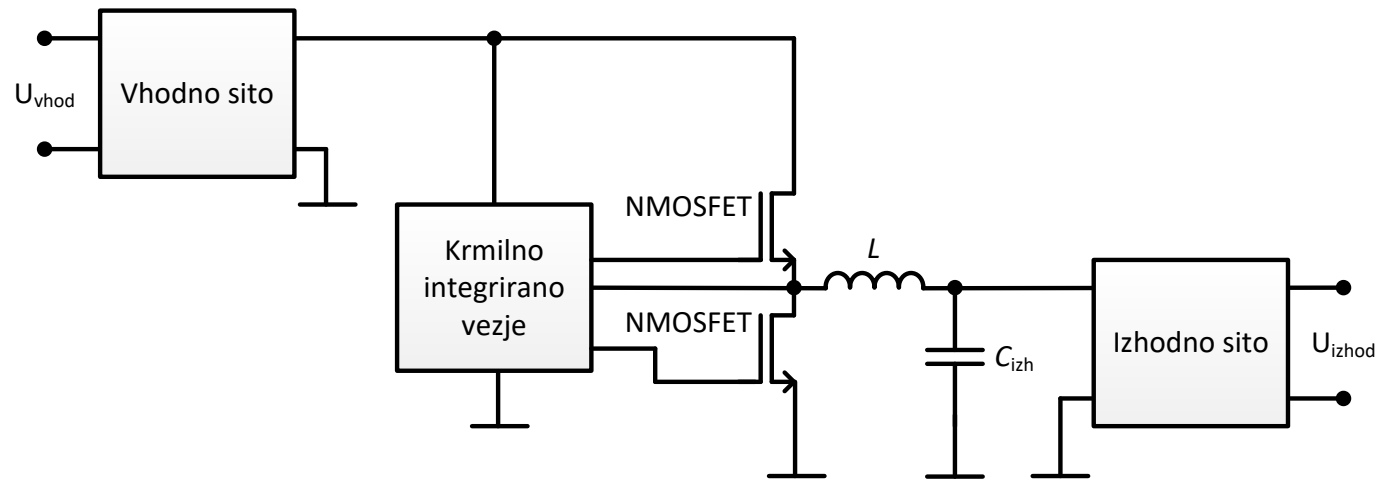
TEXAS INSTRUMENTS



# Glavna nagrada 10000€

## torek, 6. 3. 2018 ob 16h v P03-C0

# Sinhroni stikalni napajalnik iz 60V -13.8V

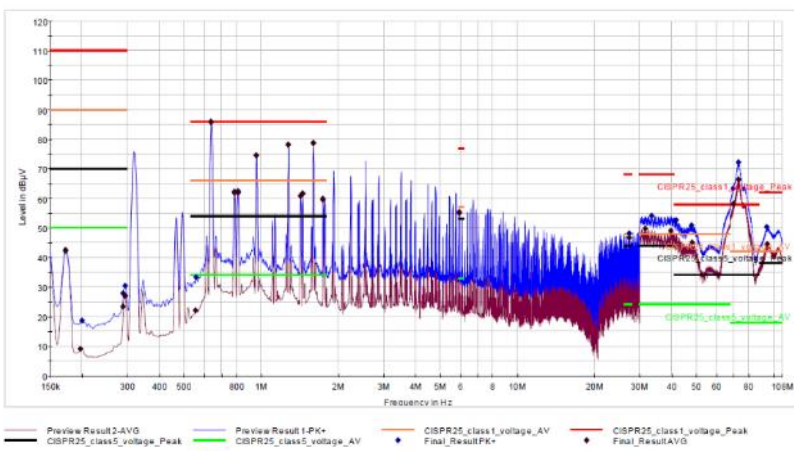


# MAHLE

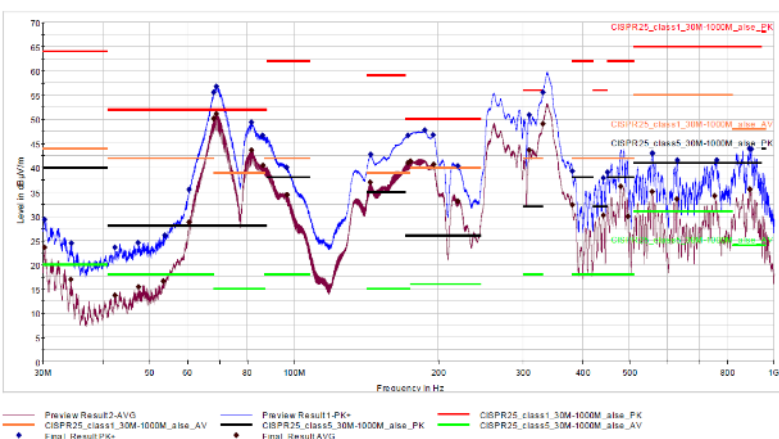


# Pirova zmaga

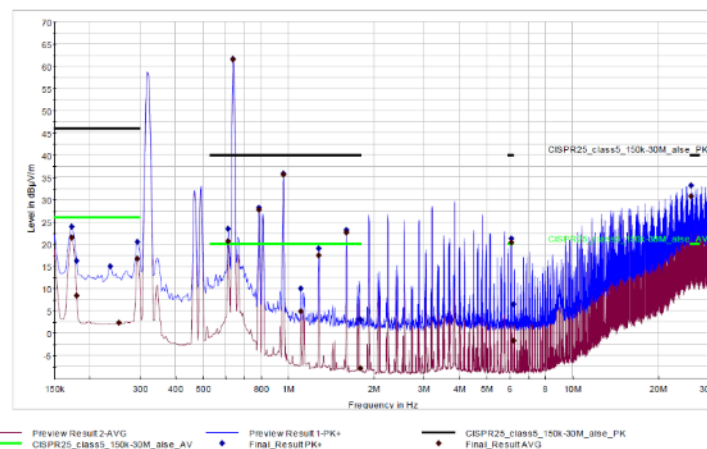
Matic Novak



Slika 25: Rezultat na 48V+ priključku s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi



30 MHz – 1000 MHz



150 kHz – 30 MHz



Slika 52: Rezultat s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju 30 MHz – 1000 MHz

Slika 50: Rezultat s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju 150 kHz – 30 MHz





# Načrtovanje elektronike za

# EMC<sup>2</sup>



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko  
Katedra za elektroniko



Laboratorij za fotoniko  
in optoelektroniko

# NAGRADNI SKLAD 20000€

# MAHLE

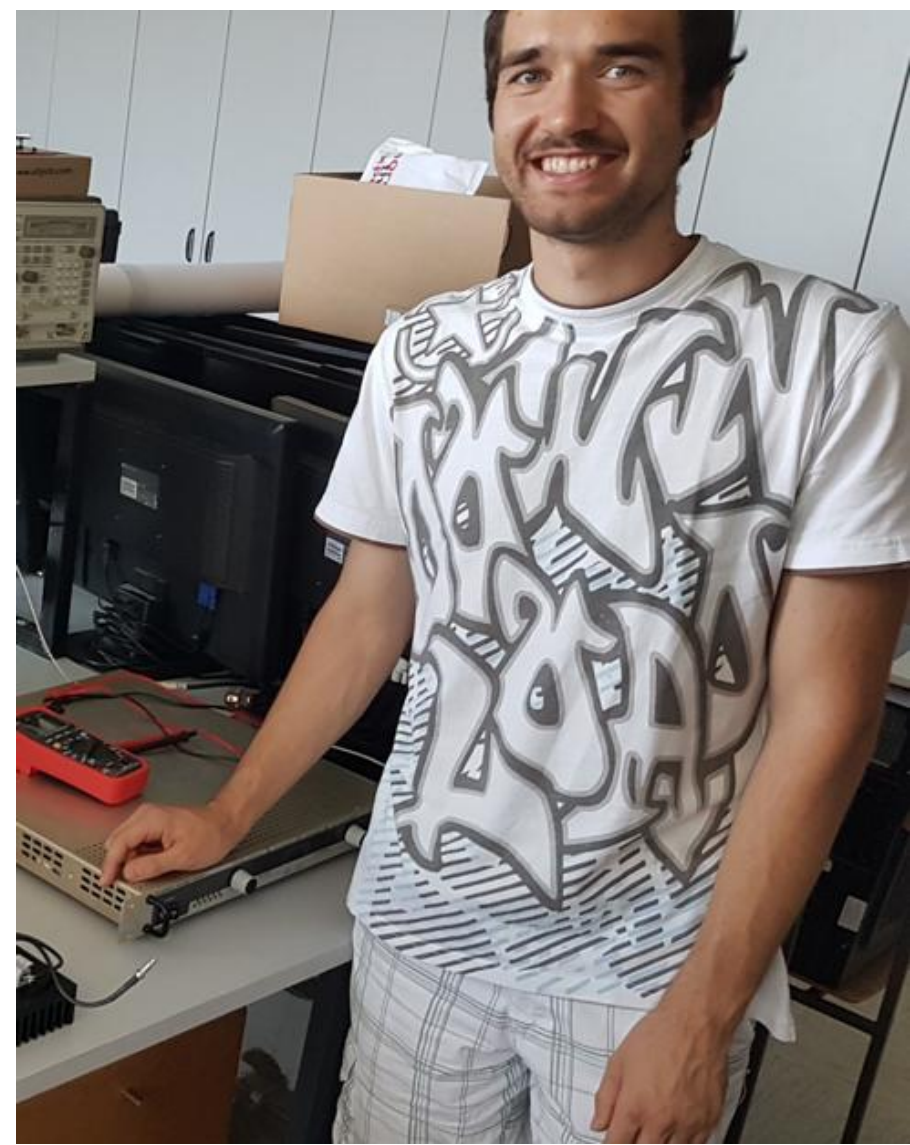
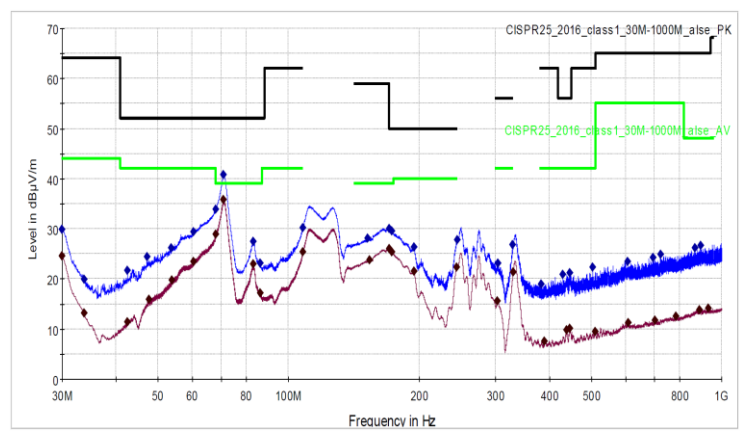
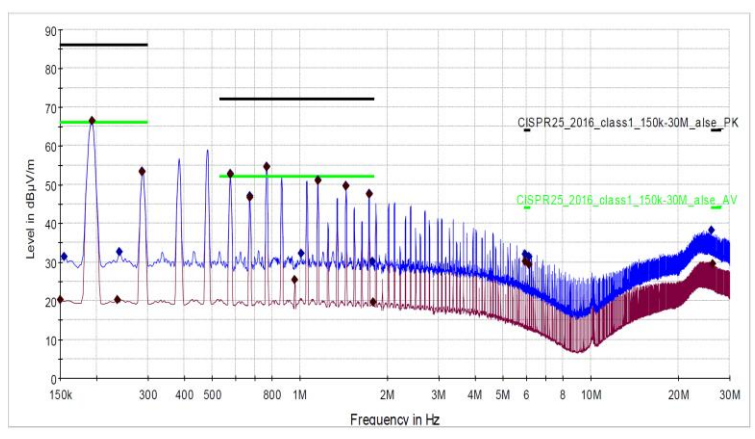
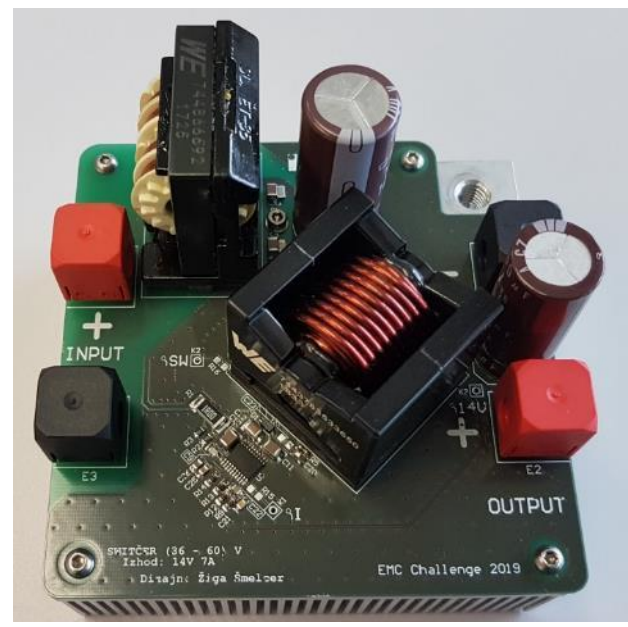
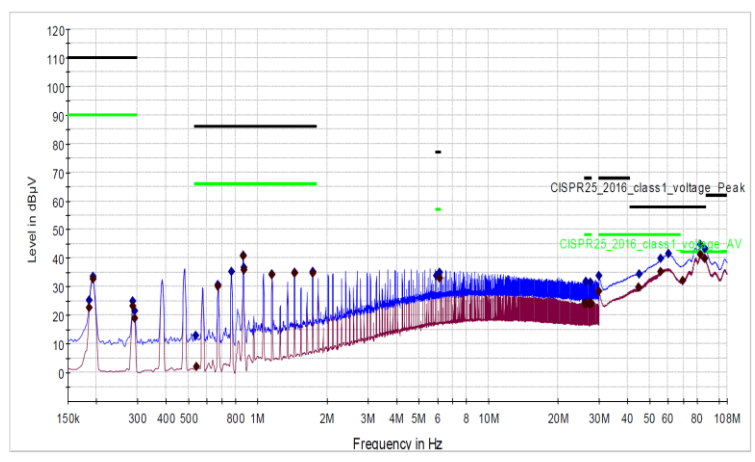


## Vsako sredo ob 17h v P02-C0



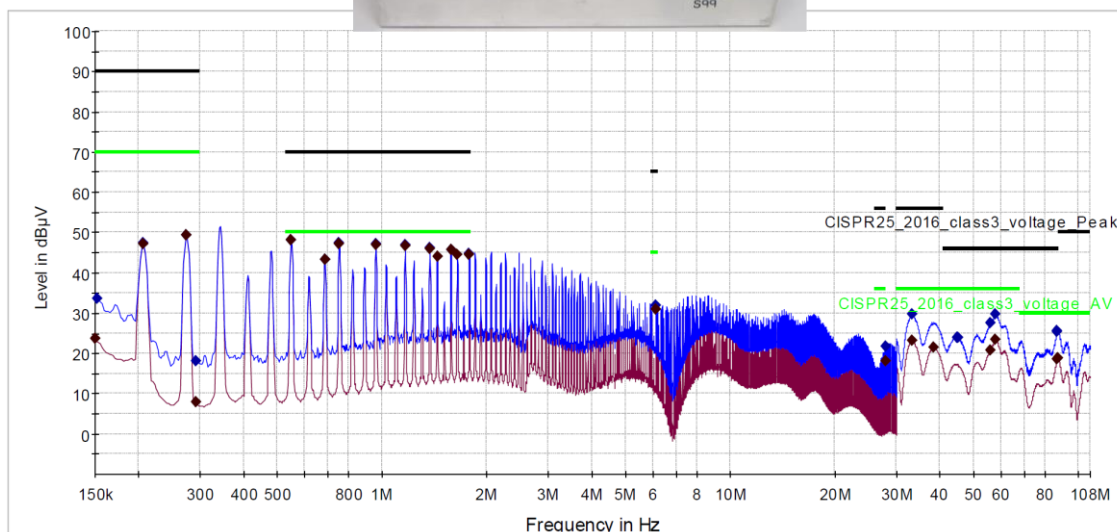
# Taprava zmaga

Žiga Šmelcer

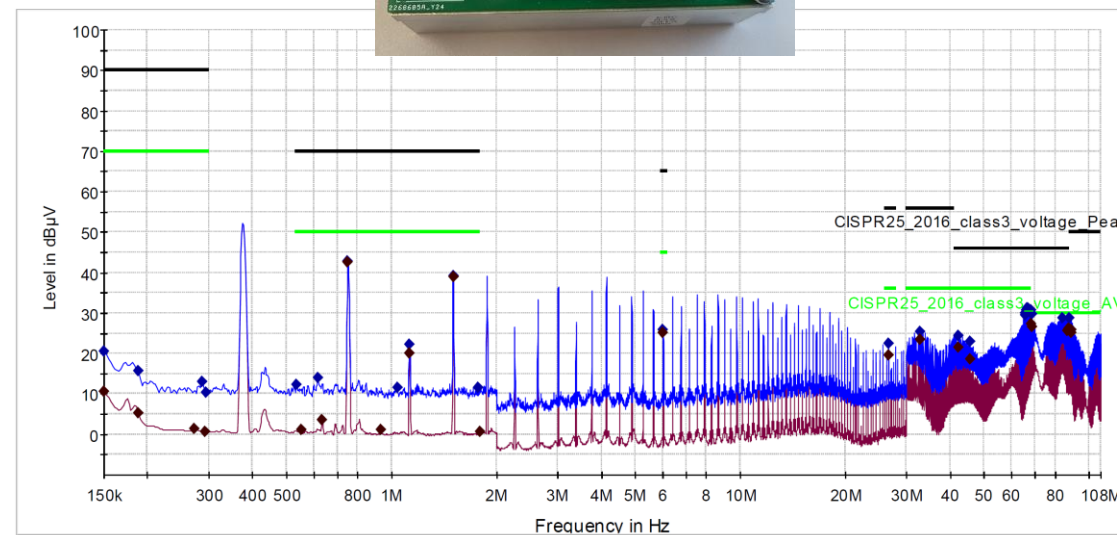
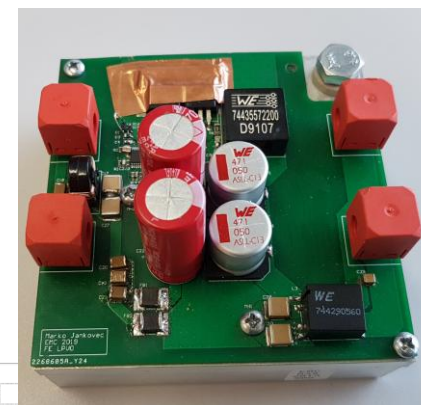


# Tekma MAHLE vs. FE!

## Industrija



## Univerza







Načrtovanje elektronike za

# EMC<sup>2</sup>

M. Janko, 2024



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko



Nagradni sklad  
> 25000 €

MAHLE



KOLEKTOR



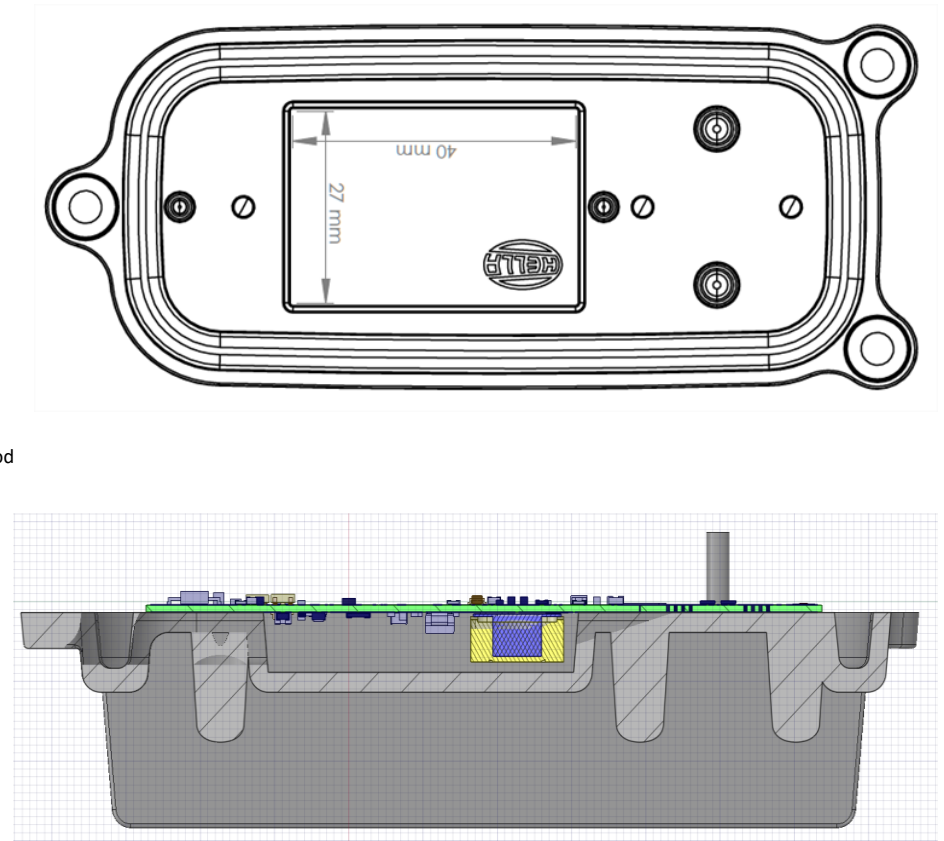
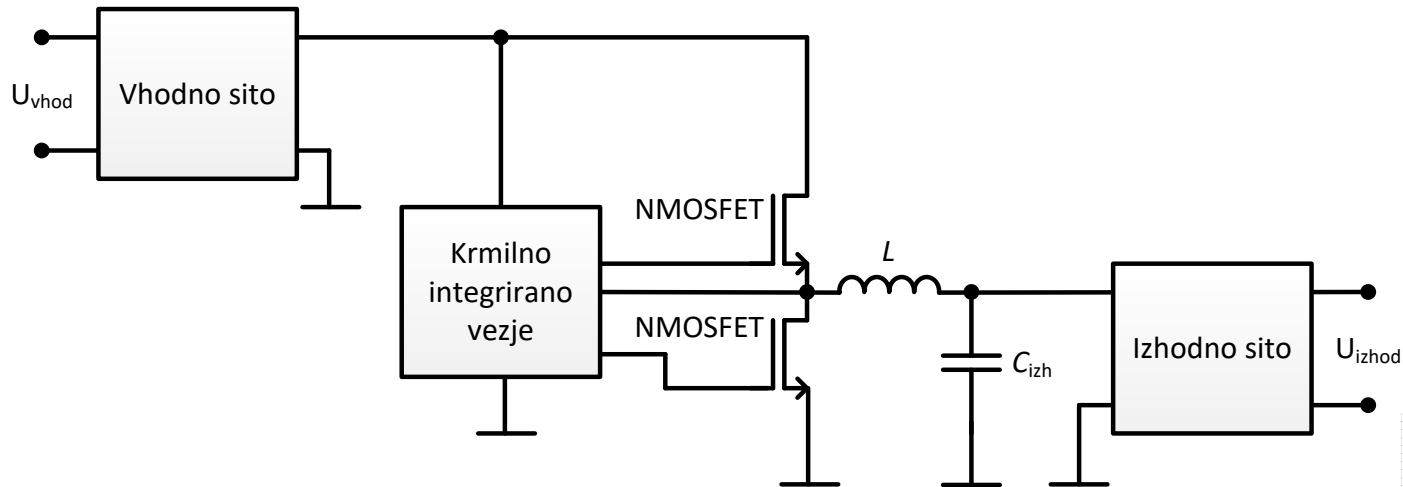
ISKRATEL



INTECTIV



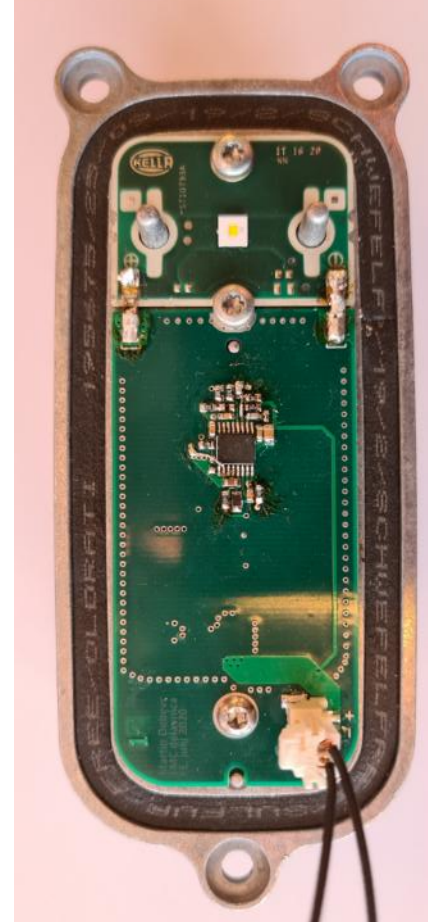
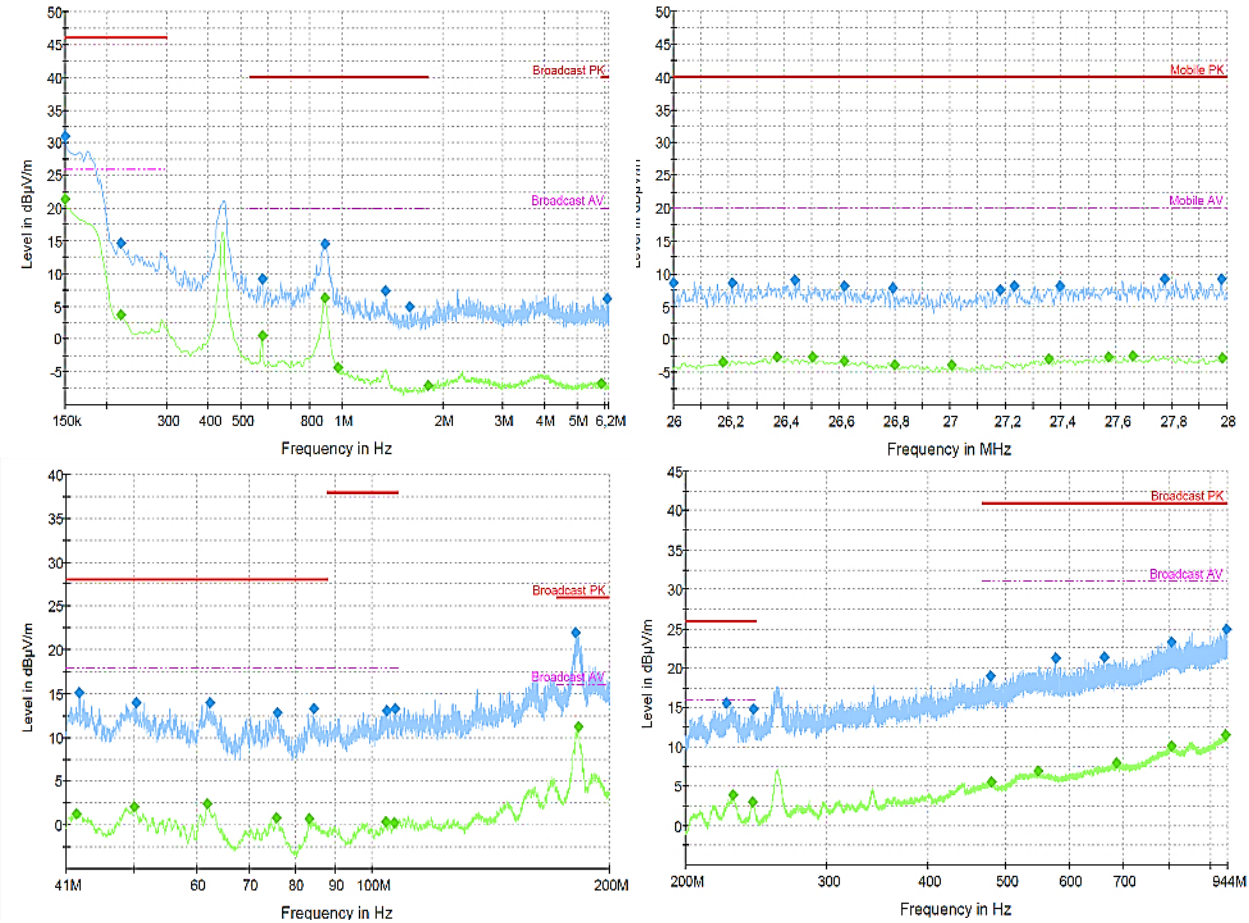
# Sinhroni stikalni napajalnik za LED





# Koronski zmagovalec

Martin Debevc





# Načrtovanje elektronike za EMC

študentska delavnica in tekmovanje

**NAGRADNI SKLAD >6000 EUR**



**vsak torek ob  
16.15 v P3-C0**



Laboratorij za fotovoltaiiko  
in optoelektroniko



Laboratorij za  
električne stroje



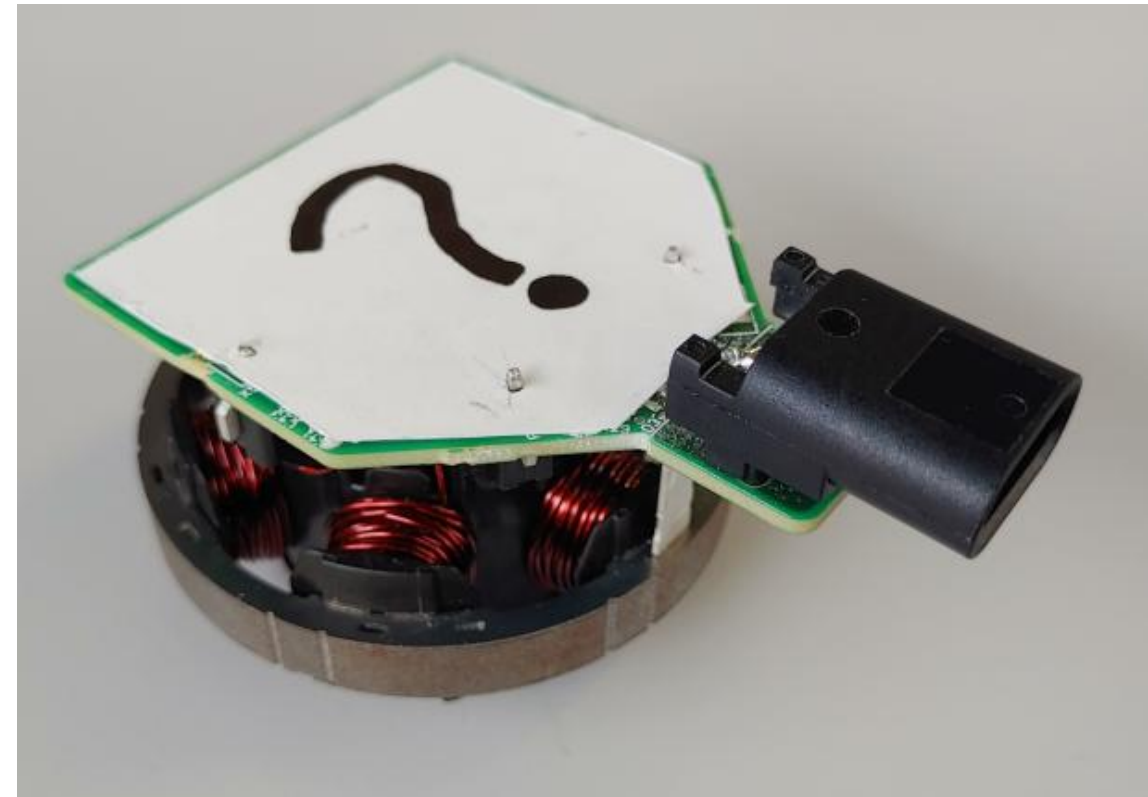
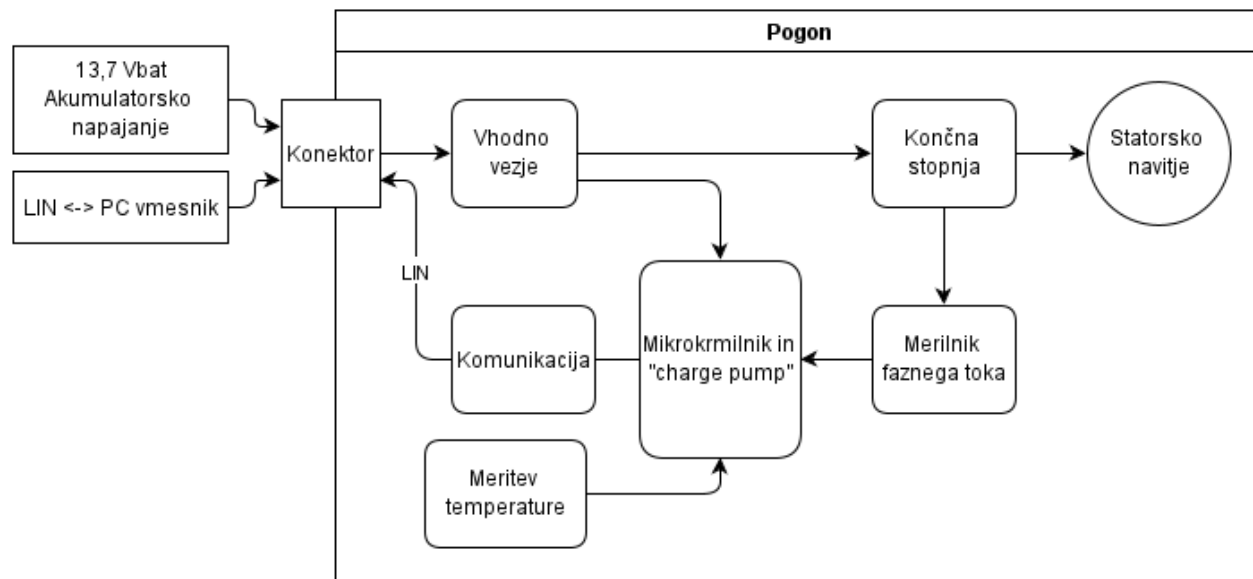
Laboratorij za regulacijsko tehniko in  
močnostno elektroniko

## KOLEKTOR



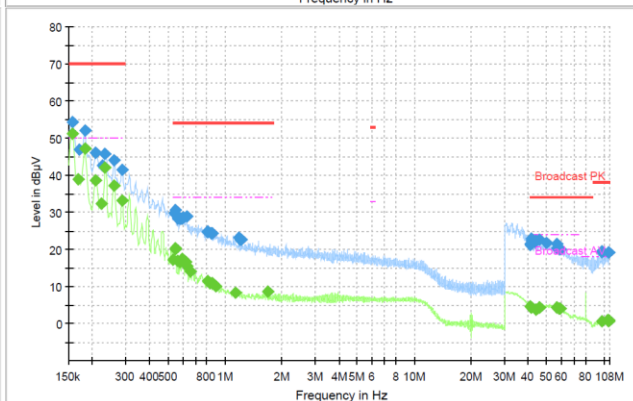
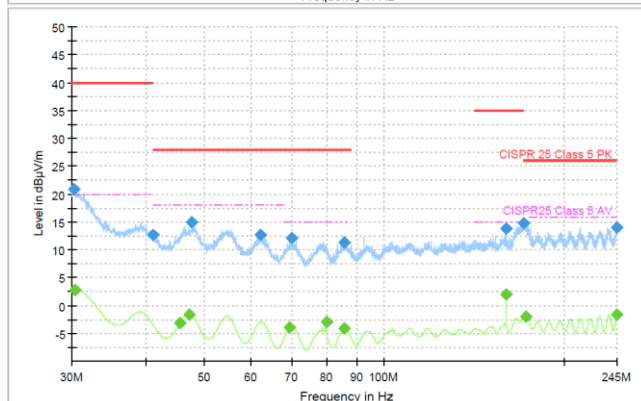
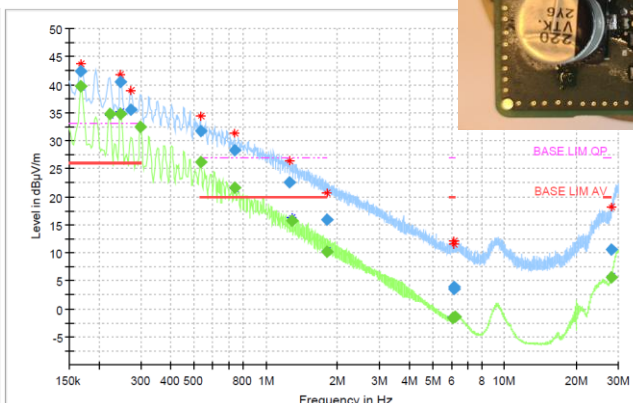
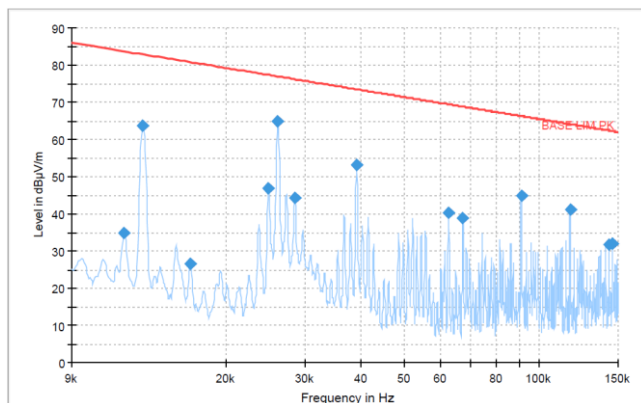
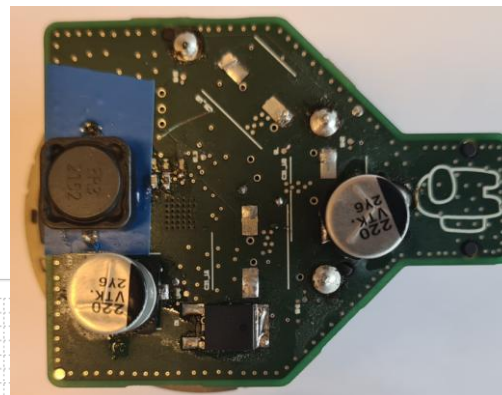


# Krmilnik za BLDC motor

60  
YEARS**KOLEKTOR**

# Zmagovalec

Luka Kavčič – aka Grega





# Načrtovanje elektronike za

M. Jankovec

7.5.2024



21  
UNIVERZA V LJUBLJANI  
Fakulteta za elektrotehniko

# EMC<sup>2</sup>

študentska delavnica  
in tekmovanje



Laboratorij za fotovoltaike  
in optoelektroniko

v torek, 7. maja 2024  
ob 16:15 v P3-C0



60000  
Puls memeco  
PULSWORLD ELECTRIC

prijave:



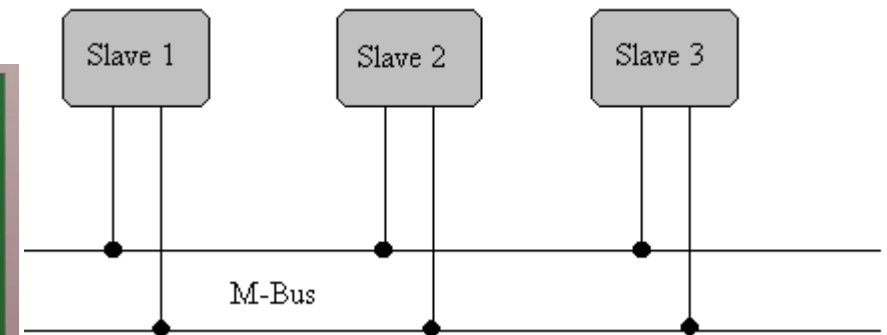
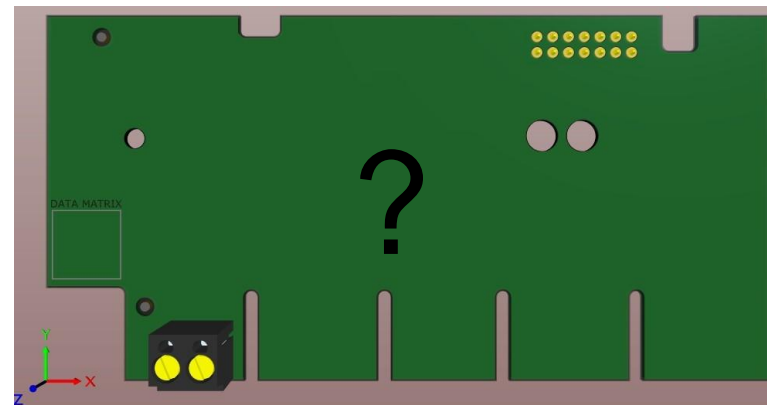
€



# M-bus vmesnik za števec el. energije



M-bus master



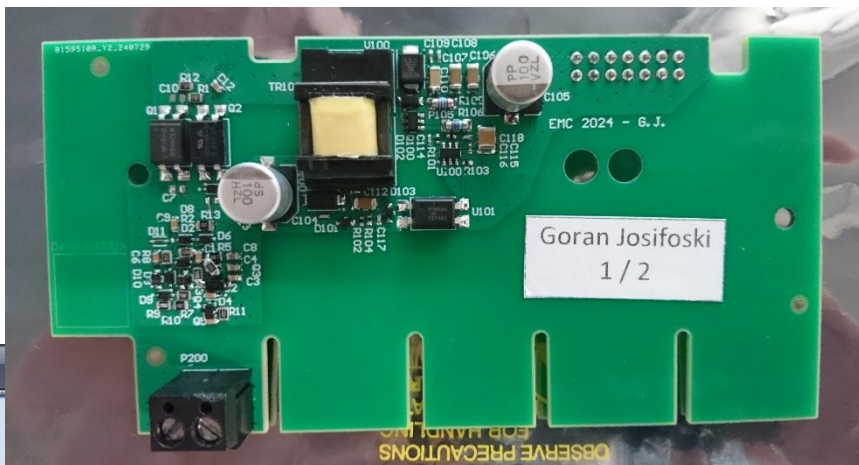
**Imunost!**



# Zmagovalec

Goran Josifoski

A



A

A



Načrtovanje elektronike za

EMC<sup>2</sup>

študentska delavnica  
in tekmovanje



FE

UNIVERZA V LJUBLJANI  
Fakulteta za elektrotehniko



Laboratorij za fotovoltaike  
in optoelektroniko

ponedeljek, 24. februar  
2025 ob 16:15 v P3-C0

FORVIA



prijave:



INSTRUMENTATION  
TECHNOLOGIES



iskraemeco  
BY ELSEWEDY ELECTRIC

KOLEKTOR



MAHLE



CORSAIR

svet  
ELEKTRONIKE



GEMmotors



WURTH  
ELEKTRONIK  
MORE THAN  
YOU EXPECT

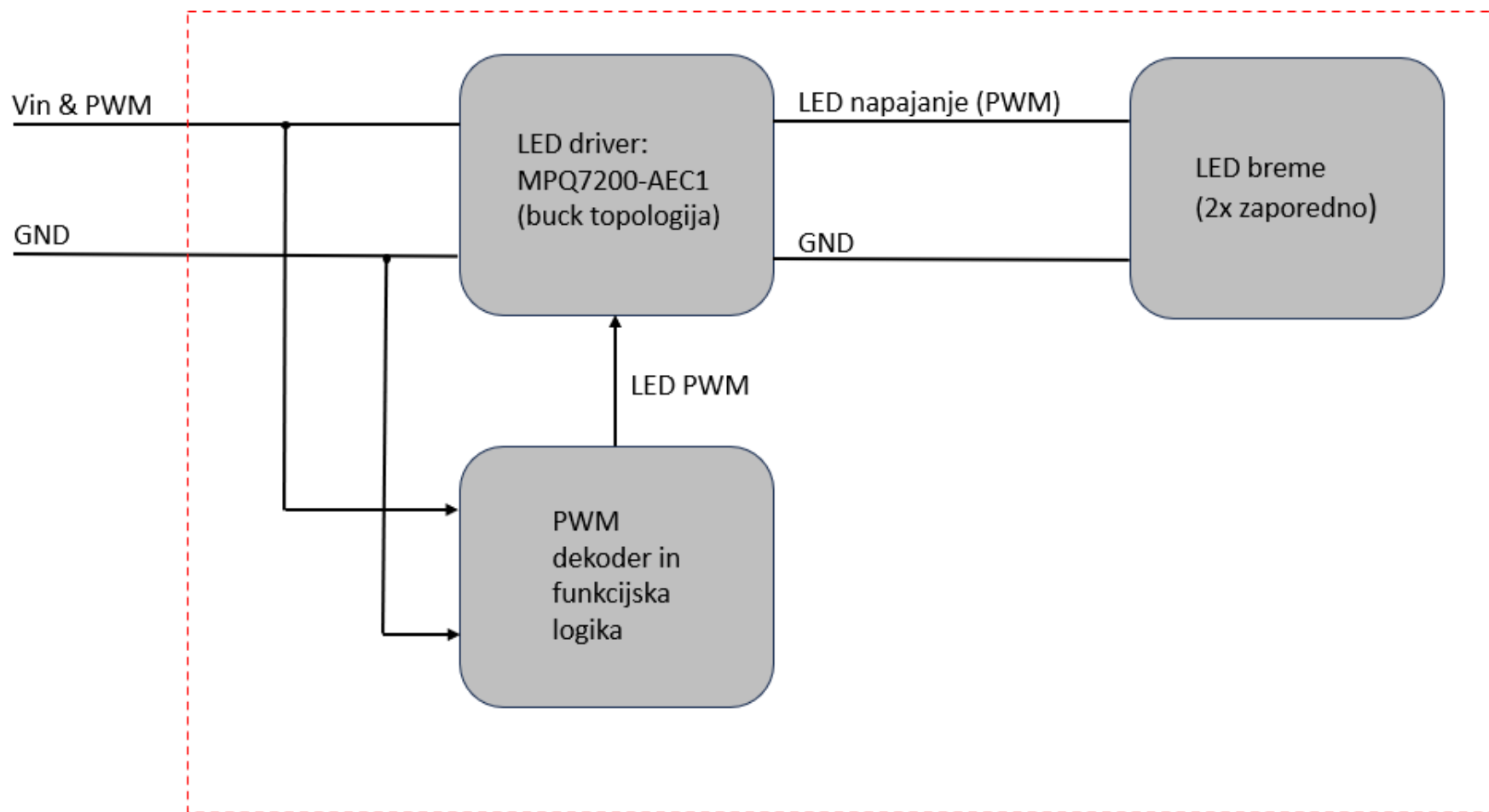


INTECTIV



## 8. EMC delavnica 2025

# FORVIA



# Funkcionalne zahteve

- DC/DC pretvornik na osnovi gonilnika

- MPQ7200A-AEC1

za napajanje dveh zaporedno vezanih belih LED

- Nichia NFSW123GT

z izhodnim tokom 300 mA

- Funkcijska logika, ki bo glede na napajalno napetost modulirano s PWM samostojno preklapljala med spodnjimi načini delovanja:

- 0 % do 45 %: LED ne sveti (LED PWM = 0 %)

- 60 % do 80 %: LED PWM = 10 %  $\pm$  3 % (7 % do 13 %)

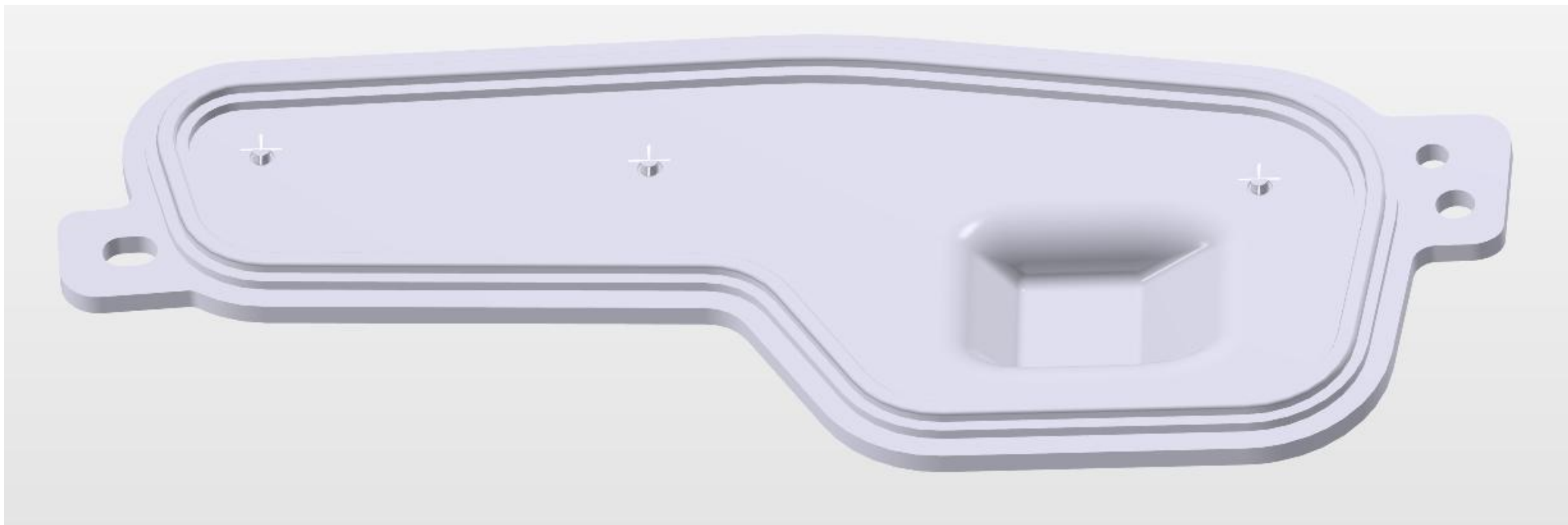
- 95 % do 100 %: LED PWM = 100 %



# Električne zahteve

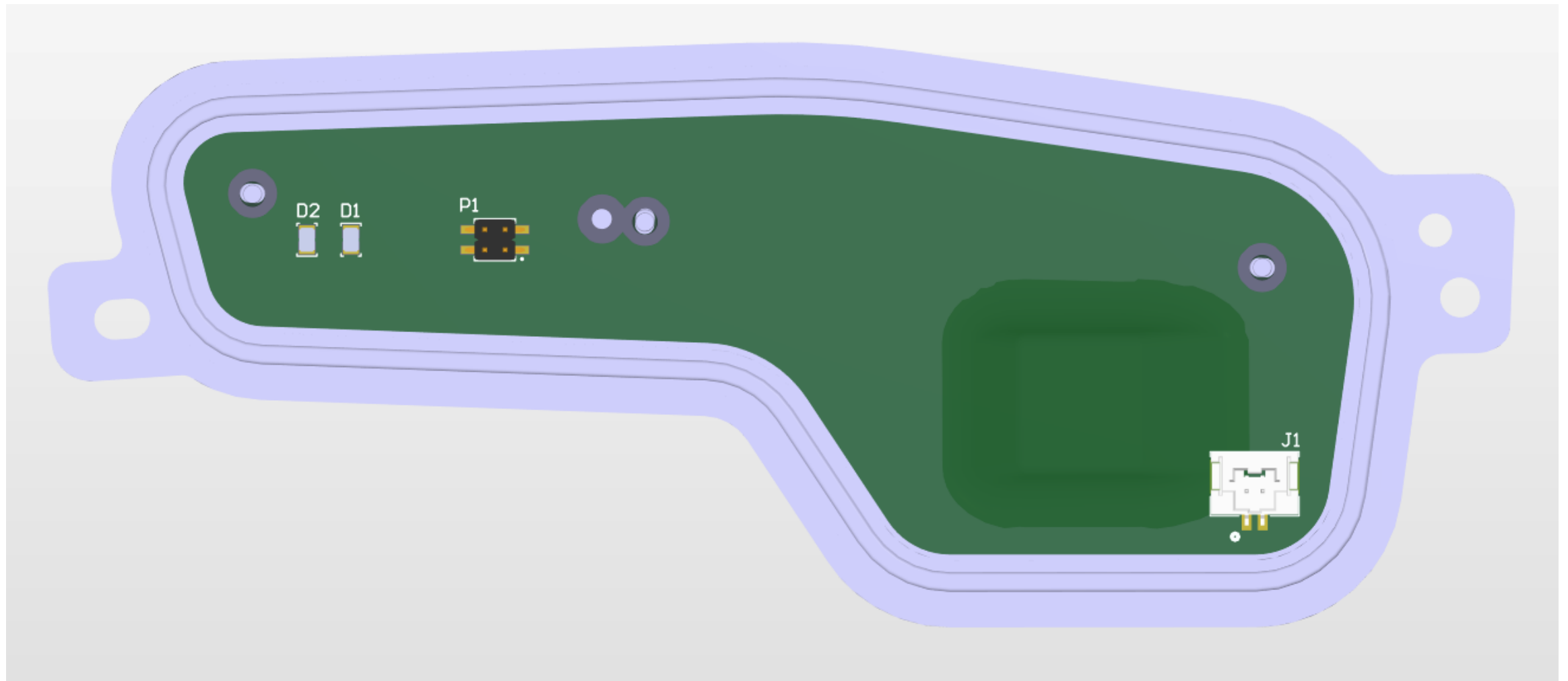
Lastnost	Vrednost	Opomba
<b>Območje napajalne napetosti</b>	8 V do 16 V	V tem področju mora pretvornik zagotavljati nazivni izhodni tok in ustrezno PWM krmiljenje LED.
<b>Temperaturno območje delovanja tiskanine</b>	-20 °C do +60 °C	V tem področju mora pretvornik zagotavljati nazivni izhodni tok in ustrezno PWM krmiljenje LED. Pri obeh temperaturah počakamo minimalno 10 min, da se temperatura elementov ustali.
<b>Območje frekvence PWM napajalne napetosti</b>	200 Hz $\pm$ 10 %	V tem področju mora pretvornik zagotavljati nazivni izhodni tok in ustrezno PWM krmiljenje LED.
<b>Nazivna izhodna napetost LED</b>	Iz podatkovnega lista	Upoštevaj, da bosta na izhodu zaporedno povezani dve LED in upoštevaj tudi vpliv temperature.
<b>Nazivni tok LED</b>	300 mA $\pm$ 5 %	Tok mora biti znotraj toleranc v celotnem temperaturnem in napetostnem območju.
<b>Temperaturna preobremenitev</b>	Nikjer na vezju oz. površini komponent temperatura ne sme preseči +90 °C.	Lega vezja je vodoravna, položena na leseno mizo s hladilnim telesom navzdol. Meritev se izvede pri sobni temperaturi 25 °C po 30 minutah delovanja vezja pri 100 % PWM.
<b>Zaščita obrnjene polaritete</b>	Mora delovati med 0 V in -20 V	Zaščita proti napačni priključitvi napajalnih sponk.
<b>Izkoristek vezja</b>	Vsaj 85 %	Izkoristek celotnega vezja od vhodnih sponk do priključka diod mora biti nad 85 %.

# Mehanske zahteve: Hladilni element





# Tiskane vezje



# Zahteve glede tiskanega vezja

- Dvoslojno vezje FR4
  - debelina dielektrika 1,6 mm,
  - debelina bakra 35  $\mu\text{m}$ ,
  - površinska zaščita HASL,
  - spajkalna kritina,
  - skozniki tip 1 (odprti) po IPC standardu.
- Ni dovoljeno premikati komponent, izvrtin in drugih objektov, vključno s keepout površinami, ki so že postavljene na načrtu tiskanega vezja in so zaklenjene. Tiskano vezje je namenjeno vgradnji na določeno hladilno telo tako, da se ga privijači skozi določene pritrtilne izvrtine.
- Povsod, kjer se tiskanina spodaj dotika hladilnega telesa, niso dovoljeni skozniki in signalne povezave, razen za povezavo GND
- Na pozicijah izvrtin za pritrtilne vijake mora biti zagotovljena tudi galvanska povezava med glavo vijaka in električno maso vezja (GND)
- Na vezju je treba zaporedno z LED dodati dvopolno SMD letvico (pin header connector) za merjenje izhodnega toka med testiranjem izdelka.



# Zahteve glede komponent

- Fiksne komponente (MPQ7200A-AEC1, NFSW123GT, konektor in letvica)
- Vse komponente morajo biti v SMD tehnologiji.
- Dodatni EMC zaščitni kovinski oklopi niso dovoljeni.
- Elektrolitski in tantalovi kondenzatorji niso dovoljeni.
- Postavitev komponent je lahko obojestranska z upoštevanjem mehanskih omejitev
  - na spodnji strani naj bo minimalni odmik komponente od hladilnika 0,5 mm
  - na zgornji strani naj bodo vse komponente nižje od konektorja J1, katerega višina je 9.3 mm.
- Pretaljevalno spajkanje (reflow).

# Kriteriji ocenjevanja

- Osnovni kriterij sprejemljivosti vezja je ustrežanje vsem funkcionalnim, mehanskim in električnim kriterijem pri nazivnih pogojih delovanja:
  - Napajalna napetost 13,5 V
  - Temperatura 25 °C.
  - Izhodni tok LED 300 mA  $\pm$  5 %
  - pri 70 % PWM na vhodu vezje generira 10 % PWM na LED
  - pri 100 % PWM na vhodu vezje generira 100 % PWM na LED



# Doseganje danih načrtovalskih zahtev

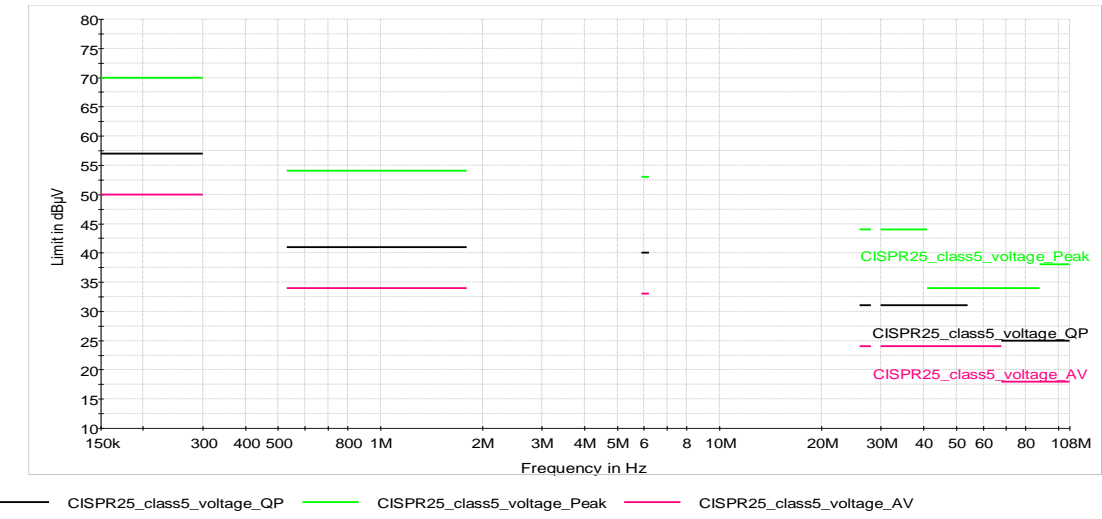
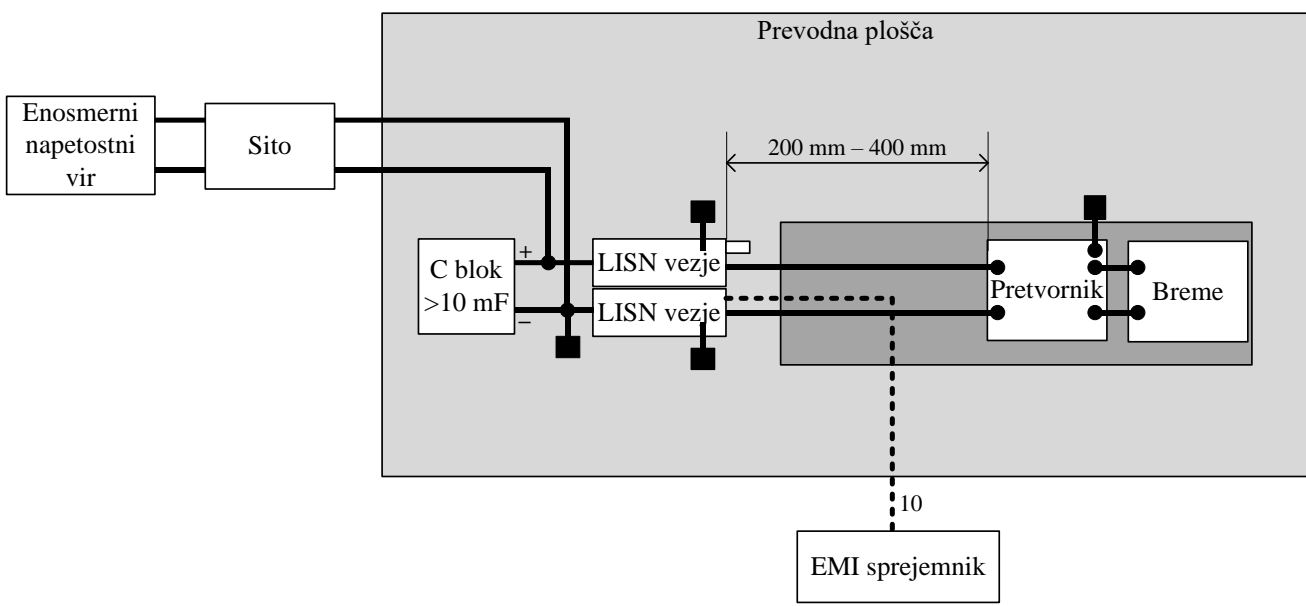
Test	Komentar	Točkovanje
<b>Test pri različnih PWM napajalne napetosti (25 %, 45 %, 60 %, 80 %, 95 % in 100 %).</b>	Pri nazivni napetosti 13,5 V, temperaturi 25 °C in brez vsiljenih motenj.	5 točk za ustrezno delovanje (izhodni tok in PWM) pri posamezni vrednosti PWM napajalne napetosti.
<b>Test pri napajalni napetosti 8 V in 16 V</b>	Pri sobni temperaturi 25 °C s 45 %, 70 % in 95 % PWM, brez vsiljenih motenj	5 točk za ustrezno delovanje (izhodni tok in PWM) pri posamezni vrednosti PWM napajalne napetosti.
<b>Test pri temperaturah -20 °C in +60 °C</b>	Pri nazivni napetosti 13,5 V, 45 %, 70 % in 95 % PWM, brez vsiljenih motenj	5 točk za ustrezno delovanje (izhodni tok in PWM) pri posamezni vrednosti PWM napajalne napetosti.
<b>Test temperature vezja pri +25 °C</b>	Pri temperaturi okolice +25 °C, napajalni napetosti 16 V in 100 % PWM, brez vsiljenih motenj po preteku 30 min od vklopa vezja.	10 točk, če nobena točka na vezju ali komponenti ne preseže 90 °C. V primeru presežene temperature se za vsako °C presežka odšteje ena točka.
<b>Zaščita proti obratni polariteti</b>	Pri napajalni napetosti -20 V za 1 minuto	10 točk, če pri obratni polariteti tok ne preseže 10 mA in po testu vezje deluje brez zaznavnih sprememb
<b>Izkoristek vezja</b>	Pri nazivni napetosti 13,5 V, temperaturi okolice 25 °C in brez vsiljenih motenj.	Za vsako odstotno točko izkoristka nad 85 % se doda 2 točki.

# EMC

- Emisije
  - Sevalne (RE)
    - Skladnost s predpisom EN55025:2017.
  - prevodne (CE)
    - Skladnost s predpisom EN55025:2017.
- Imunost
  - na vsiljene tokove (BCI test) skladno s predpisom ISO 11452-4.
  - na elektromagnetno sevanje (RI) skladno s predpisom ISO 11452-2.



# Prevodne emisije - EN55025:2017

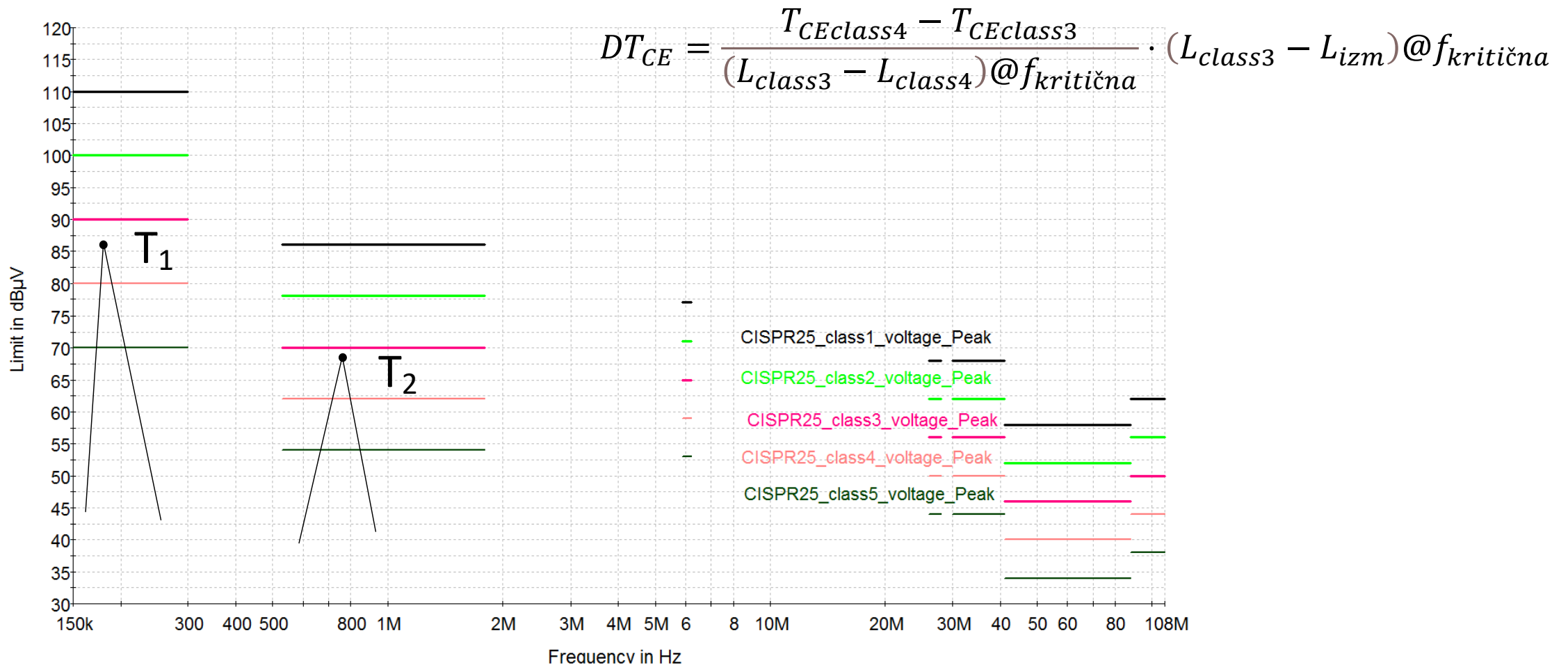


# Doseganje elektromagnetne združljivosti - emisije

- Prevodne emisije

- pod razred 1 limitami  $\rightarrow T_{CEclass1} = 0$  točk
- pod razred 2 limitami  $\rightarrow T_{CEclass2} = 5$  točk
- pod razred 3 limitami  $\rightarrow T_{CEclass3} = 10$  točk
- pod razred 4 limitami  $\rightarrow T_{CEclass4} = 20$  točk
- pod razred 5 limitami  $\rightarrow T_{CEclass5} = 40$  točk

# Dodatne točke, če si med razredi



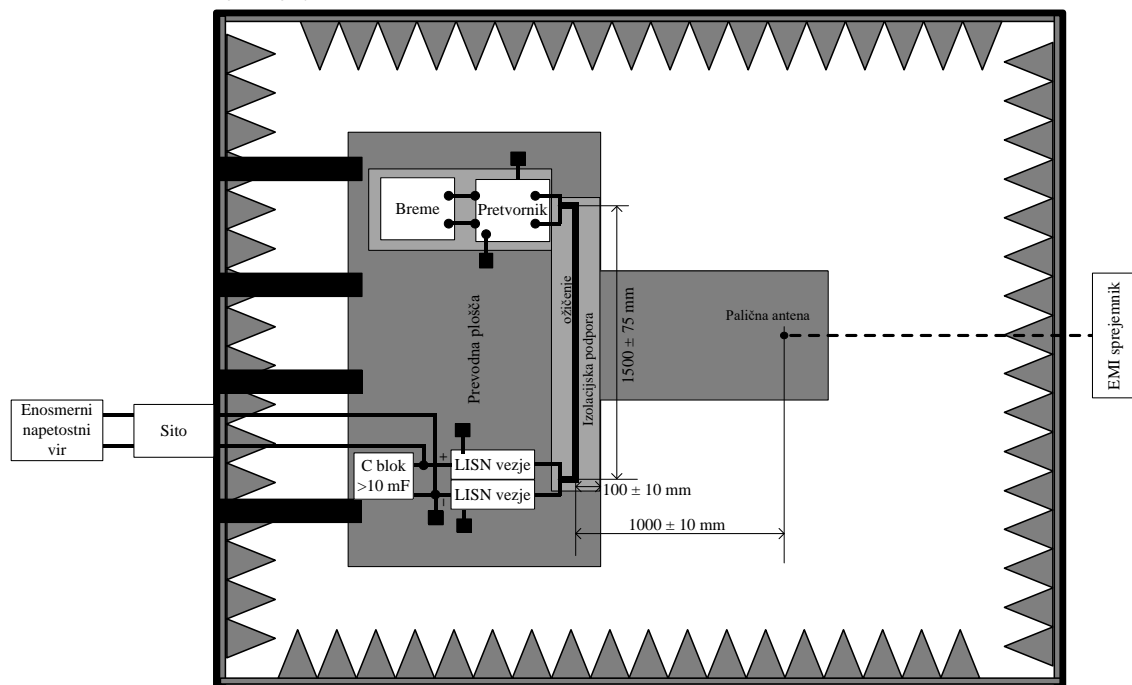


# Sevalne emisije - EN55025:2017

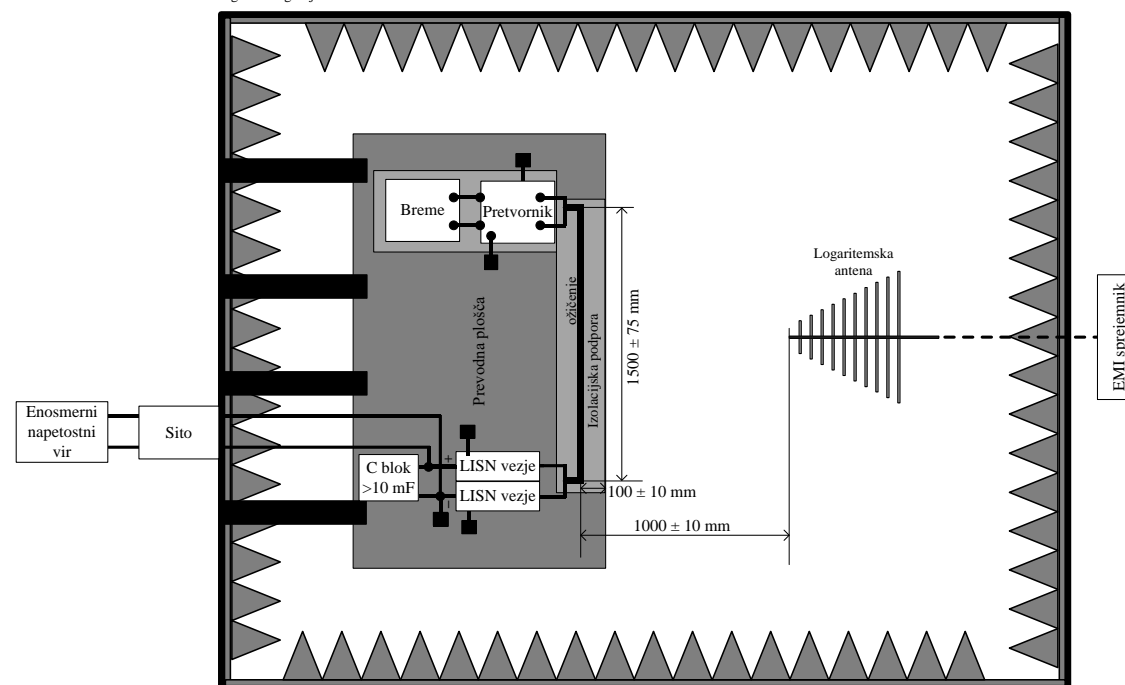
150kHz - 30 MHz

30 MHz – 1000 MHz

Pogled od zgoraj



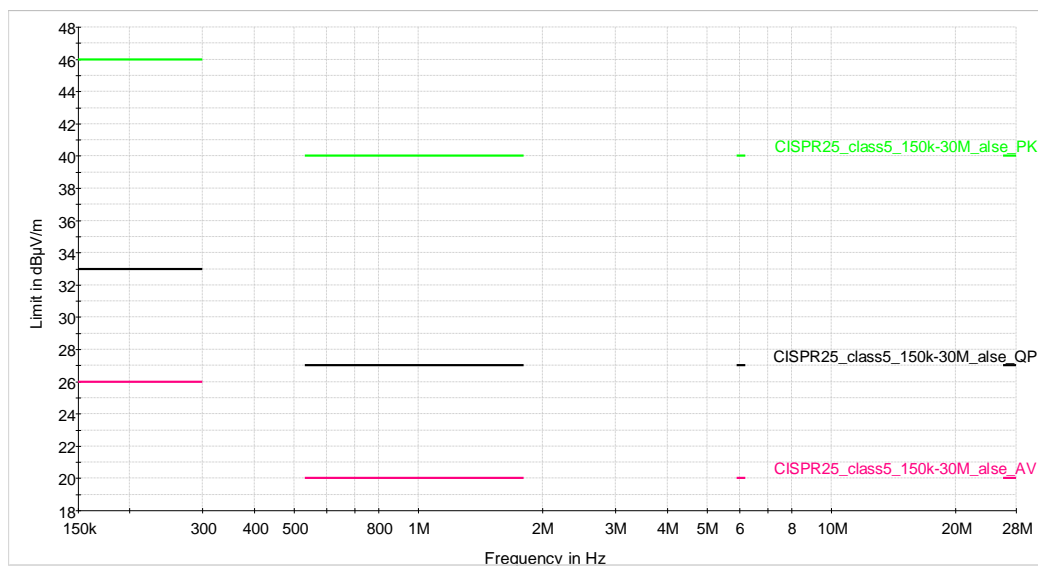
Pogled od zgoraj



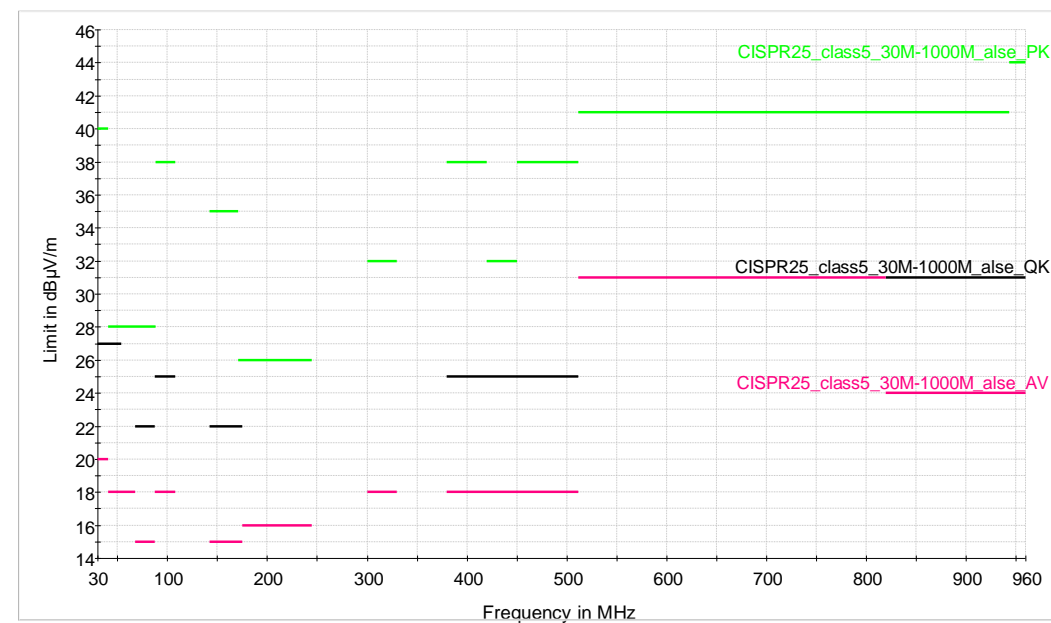
# Sevalne emisije - EN55025:2017

150kHz - 30 MHz

30 MHz – 1000 MHz



— CISPR25\_class5\_150k-30M\_alse\_QP    — CISPR25\_class5\_150k-30M\_alse\_PK    — CISPR25\_class5\_150k-30M\_alse\_AV



— CISPR25\_class5\_30M-1000M\_alse\_QK    — CISPR25\_class5\_30M-1000M\_alse\_PK  
 — CISPR25\_class5\_30M-1000M\_alse\_AV

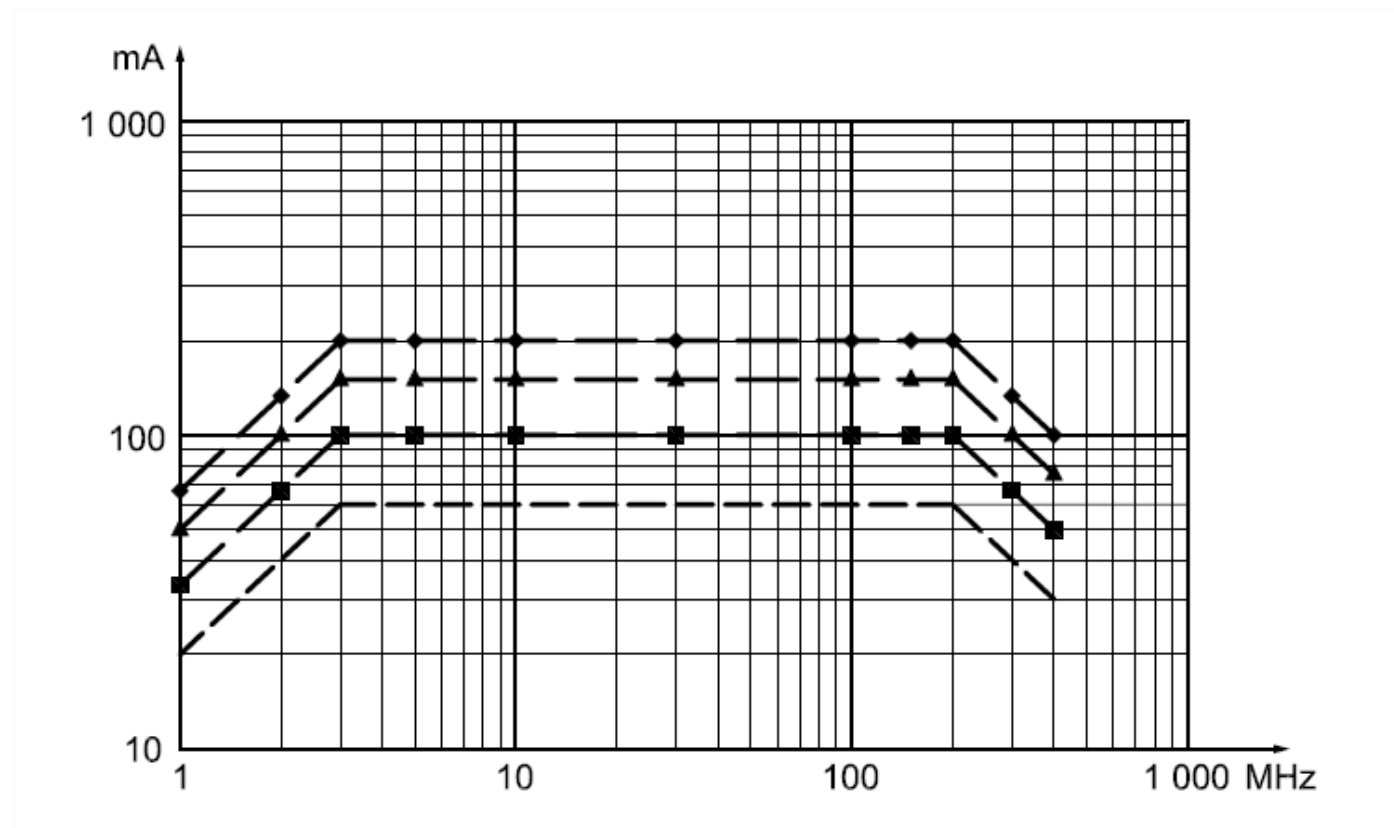
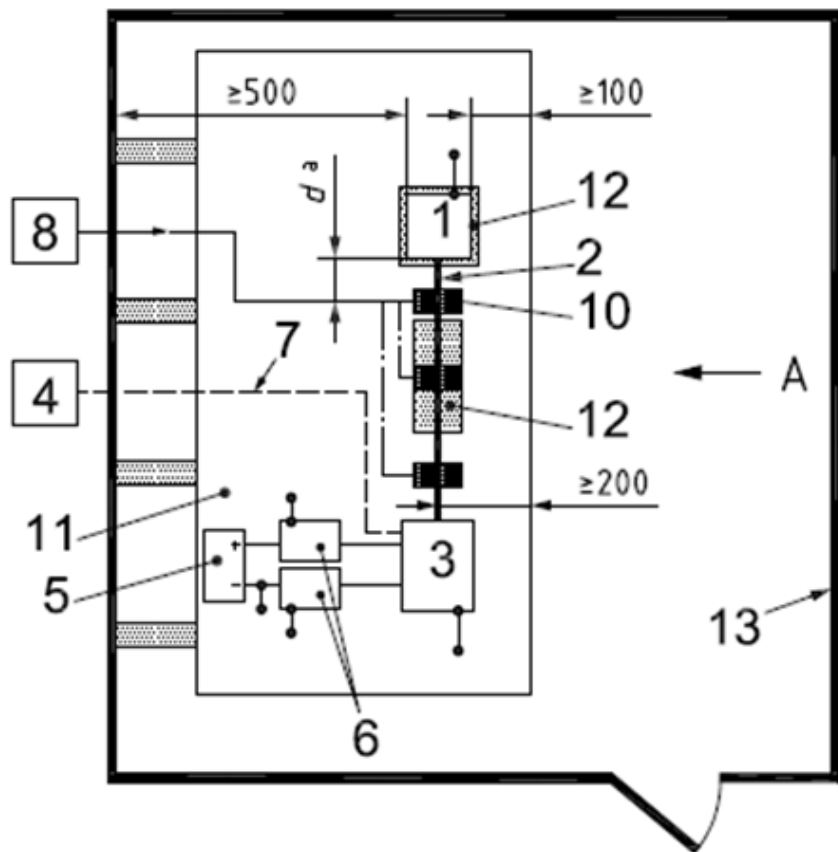
# Doseganje elektromagnetne združljivosti - emisije

- Sevalne emisije

- pod razred 1 limitami  $\rightarrow T_{CEclass1} = 0$  točk
- pod razred 2 limitami  $\rightarrow T_{CEclass2} = 5$  točk
- pod razred 3 limitami  $\rightarrow T_{CEclass3} = 10$  točk
- pod razred 4 limitami  $\rightarrow T_{CEclass4} = 20$  točk
- pod razred 5 limitami  $\rightarrow T_{CEclass5} = 40$  točk



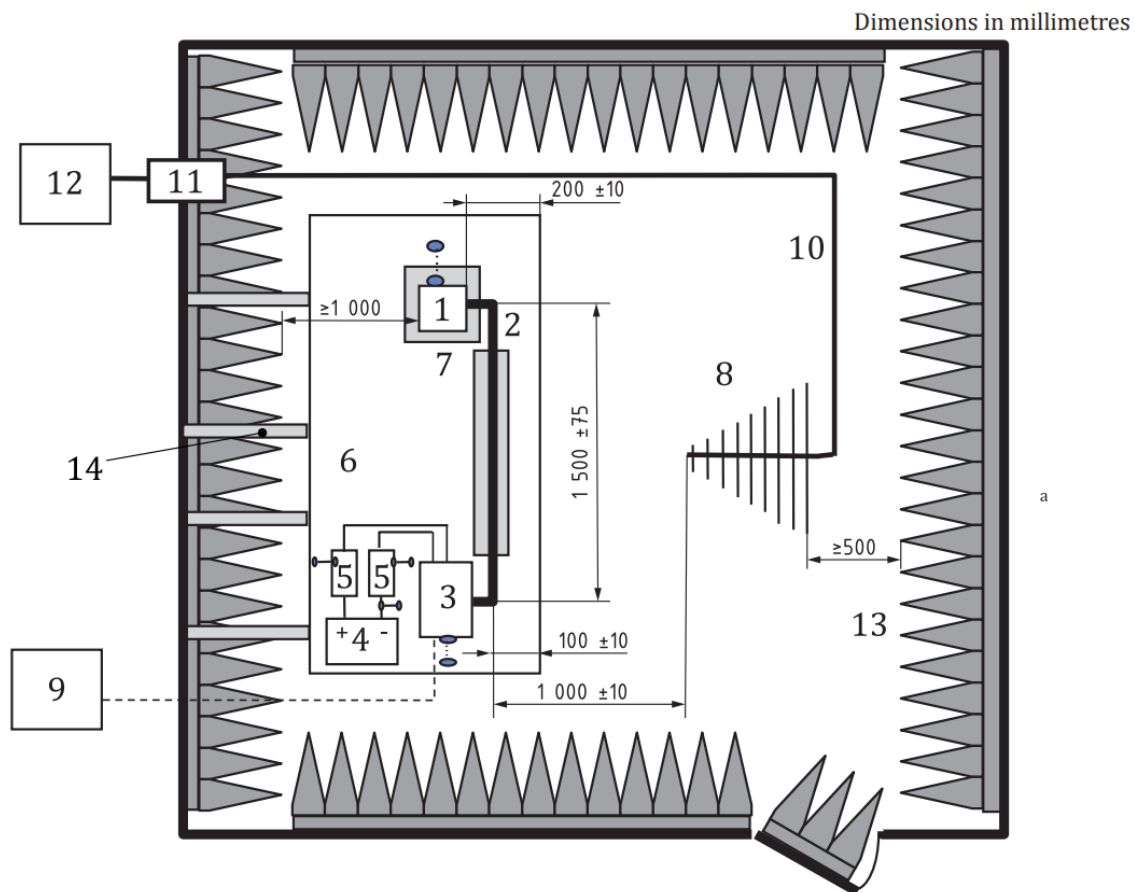
# Imunost na vsiljene tokove (BCI) - ISO 11452-4



# Doseganje elektromagnetne združljivosti – imunost

- Imunost na vsiljene tokove (BCI)
  - Imunost vezja do 100 mA:  $T_{BCI} = 40$  točk (kriterij A),  $T_{BCI} = 20$  točk (kriterij B),  $T_{BCI} = 10$  točk (kriterij C)
  - V primeru doseganja kriterija C, meritev imunosti ponovimo na nivoju 60 mA:  $T_{BCI} = 20$  točk (kriterij A),  $T_{BCI} = 10$  točk (kriterij B),  $T_{BCI} = 5$  točk (kriterij C)
- Pri točkovanju se upošteva maksimalno število točk iz testa pri posameznem toku.

# Imunost na sevalne motnje (RI) - ISO 11452-2



- od 400 MHz do 1,2 GHz
- 100 V/m
- 60 V/m



# Doseganje elektromagnetne združljivosti – imunost

- Imunost na sevalne motnje (RI)
  - Imunost vezja do 100 V/m:  $T_{RI} = 40$  točk (kriterij A),  $T_{RI} = 20$  točk (kriterij B),  $T_{RI} = 10$  točk (kriterij C)
  - V primeru doseganja kriterija C, meritev imunosti ponovimo na nivoju 60 V/m:  $T_{RI} = 20$  točk (kriterij A),  $T_{RI} = 10$  točk (kriterij B),  $T_{RI} = 5$  točk (kriterij C)
- Pri točkovanju se upošteva maksimalno število točk iz testa pri posameznem toku.

# Cena gradnikov

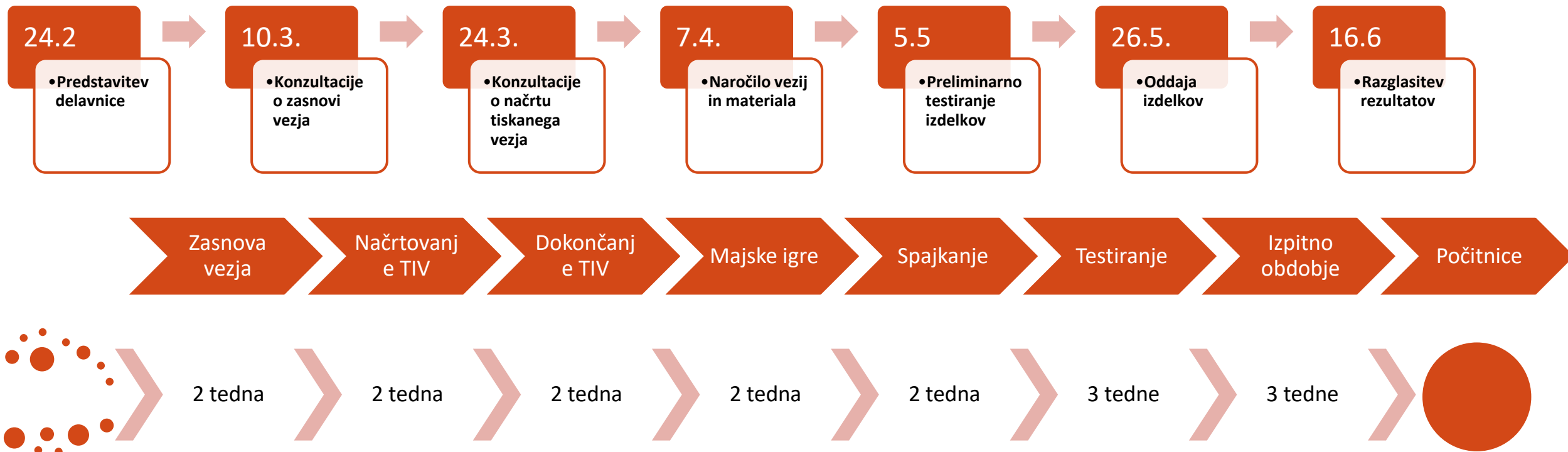
- Ceno komponent pri predpostavki 10.000 izdelanih kosov
- Strošek opremljanja vezja s fiksno ceno polaganja ene komponente 0,01 €/komponento
- brez cene hladilnega telesa, tiskanega vezja in vnaprej definiranih komponent (konektor, LED, letvica, DC-DC driver čip).
- Za SMD upore s toleranco 1 % in multilayer keramične kondenzatorje do vrednosti 100 nF in velikosti 0402 ali 0603 privzemite nabavno ceno 0,005 € na komponento.
- Za vsak 1 € v končni ceni izdelka se bo pri ocenjevanju odbilo 10 točk:
  - $T_{cena} = 10 \cdot cena/€$

# Točkovanje

Testi	Število postavk	Maks točk na postavko	Vsota	Delež celote
<b>Funkcionalni testi</b>				
PWM	6	5	30	10%
Napetost	6	5	30	10%
Temperatura	1	10	10	3%
Obratna polariteta	1	10	10	3%
Izkoristek	15	2	30	10%
<b>Skupaj funkcionalnost</b>			<b>110</b>	<b>37%</b>
<b>EMC</b>				
CE	1	40	40	13%
RE	1	40	40	13%
BCI	1	40	40	13%
RI	1	40	40	13%
<b>Skupaj EMC</b>			<b>160</b>	<b>53%</b>
<b>Skupaj BOM</b>	<b>3 €</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>10%</b>
<b>Skupaj vse skupaj</b>			<b>300</b>	<b>100%</b>



# Časovni plan: mejniki so ponedeljki

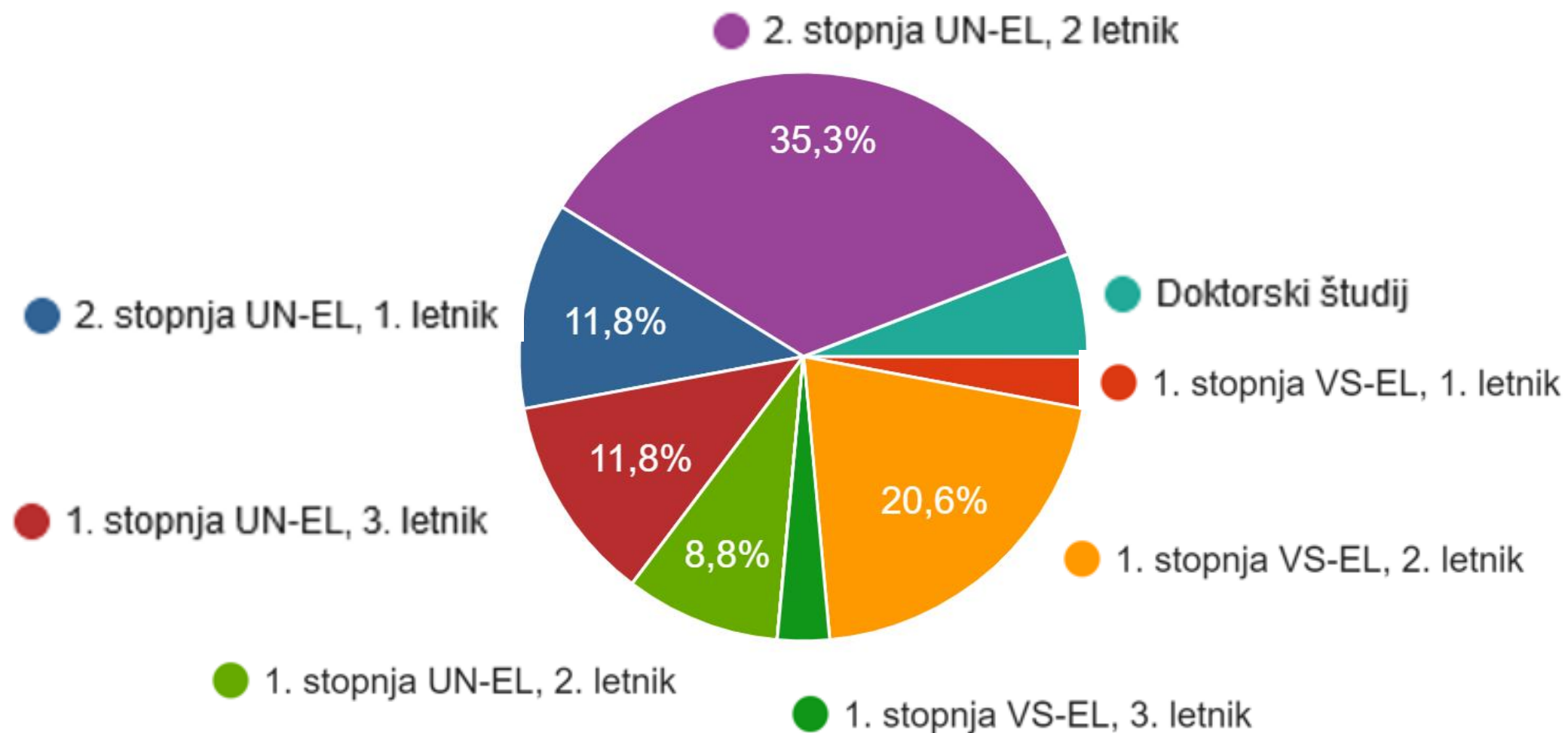


# Stanje prijav



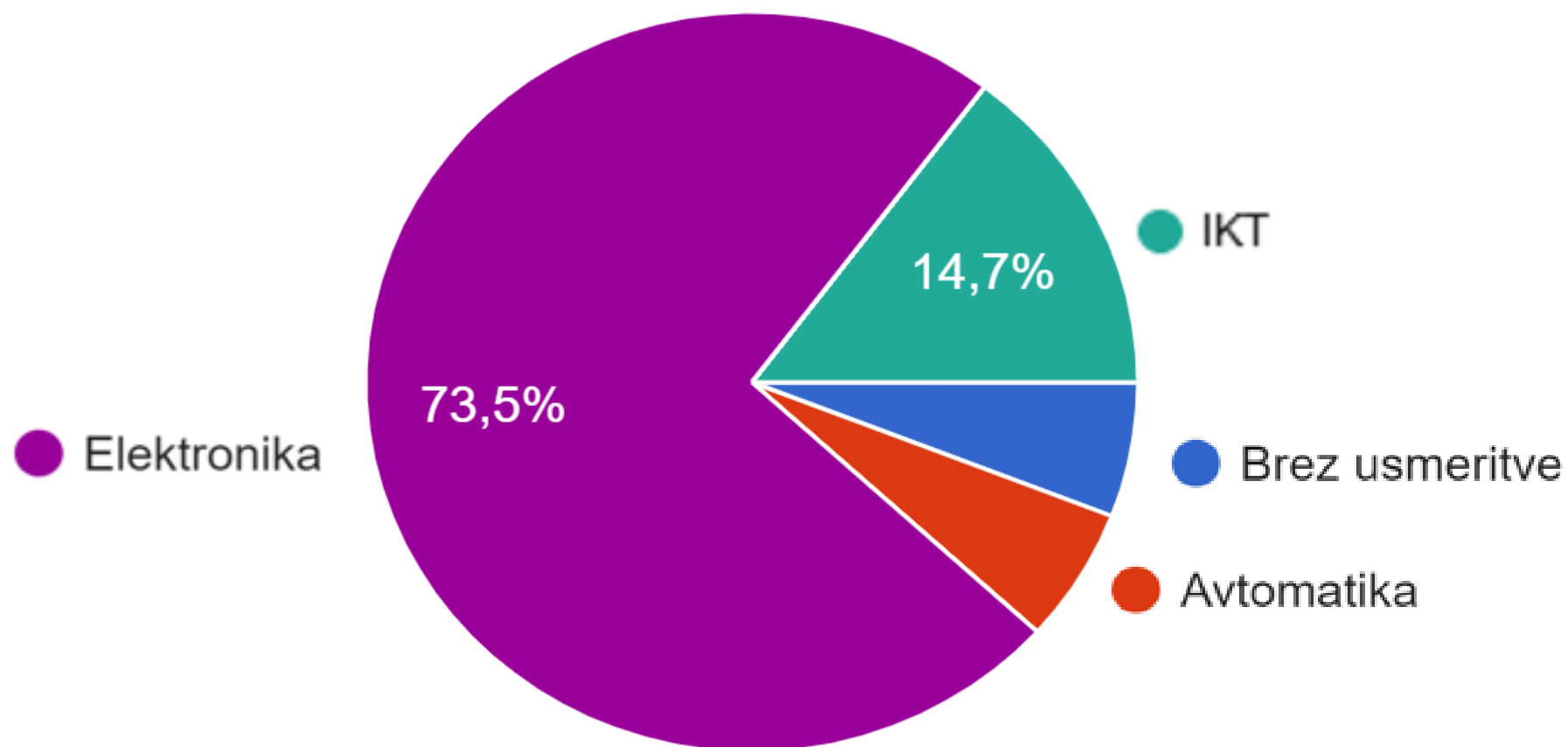
# Študijski program

34 odgovorov



# Smer študija

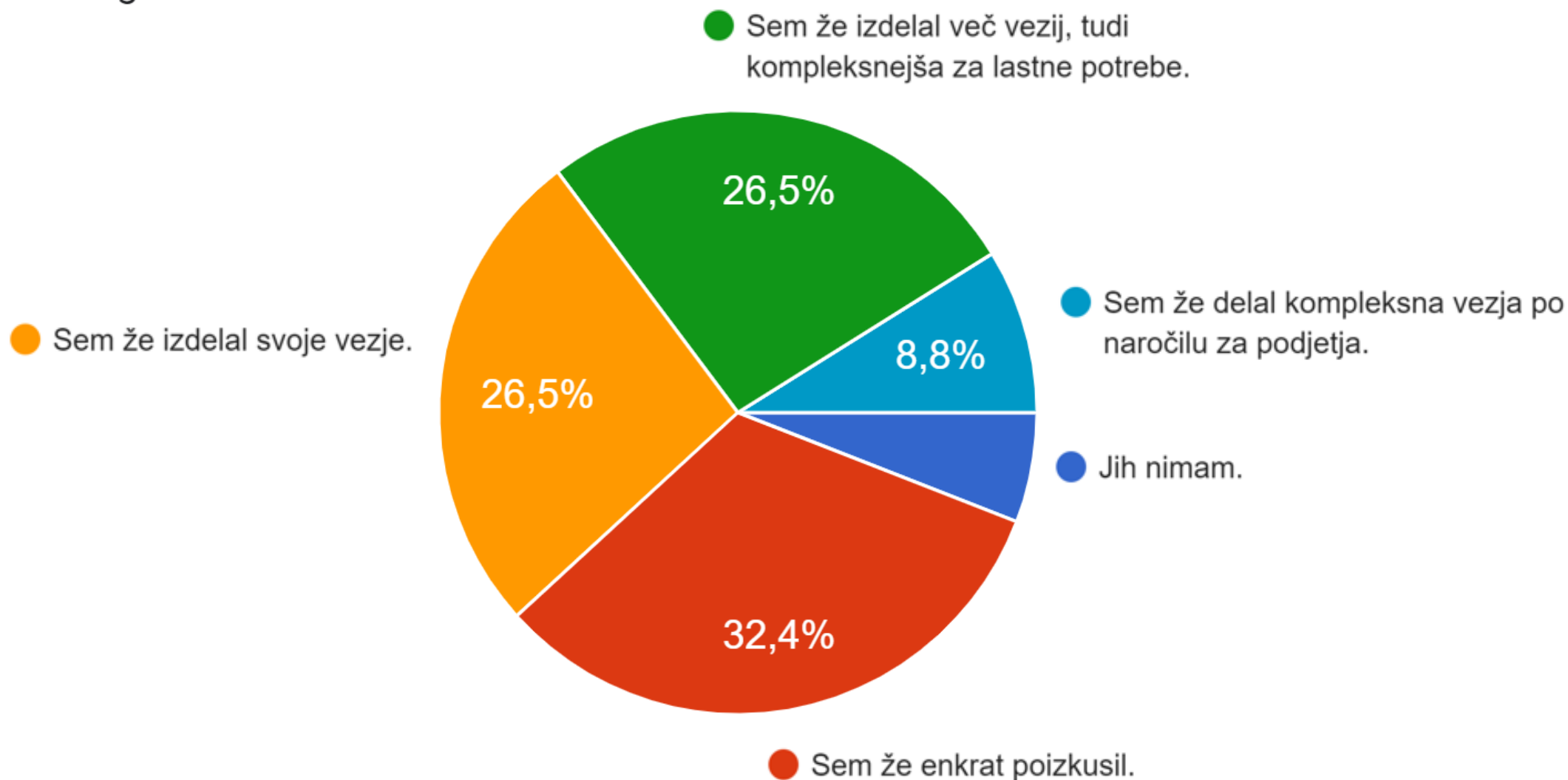
34 odgovorov





# S koliko bi ocenili vaše izkušnje z načrtovanjem elektronskih vezij?

34 odgovorov



# Ali bi sodelovali pri tekmovanju?

34 odgovorov

