

# Načrtovanje elektronike za EMC



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko  
Katedra za elektroniko



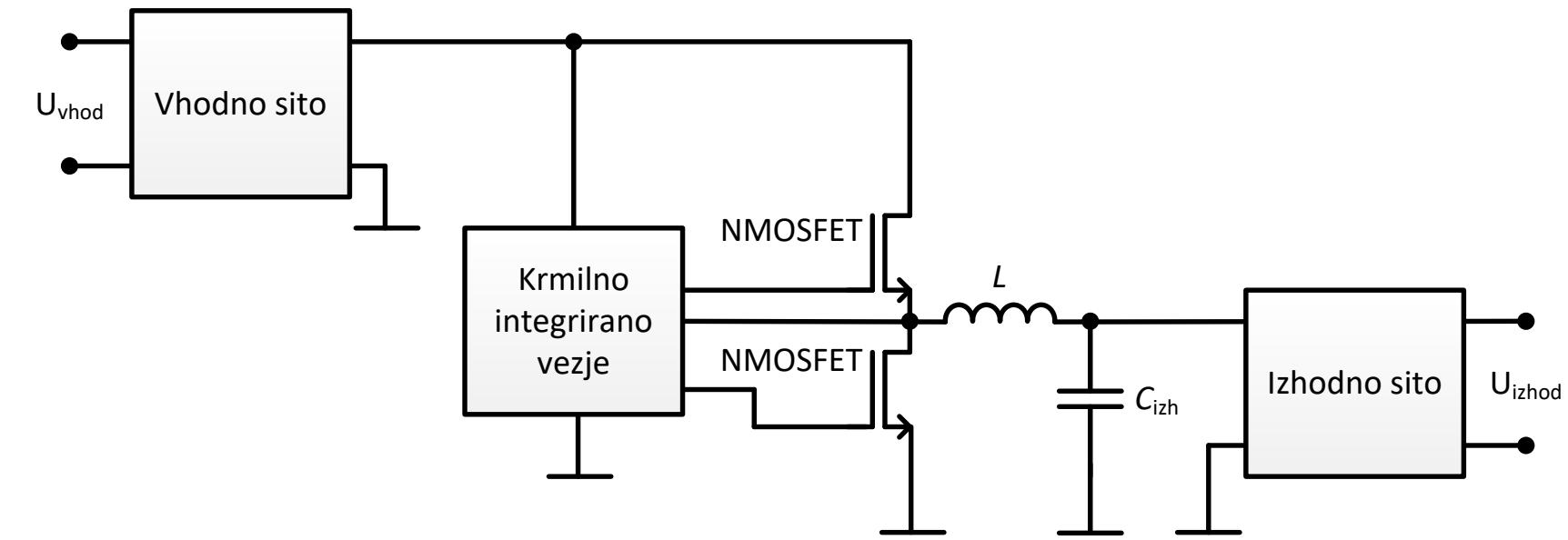
Laboratorij za fotovoltiku  
in optoelektronik



## Analiza in rezultati EMC delavnice 2018

Marko Jankovec, Matjaž Tome, Boštjan Glažar, Jernej Sorta, Gregor Ergaver

# Izziv: DC/DC stikalni napajalnik navzdol



# Izziv: DC/DC stikalni napajalnik navzdol

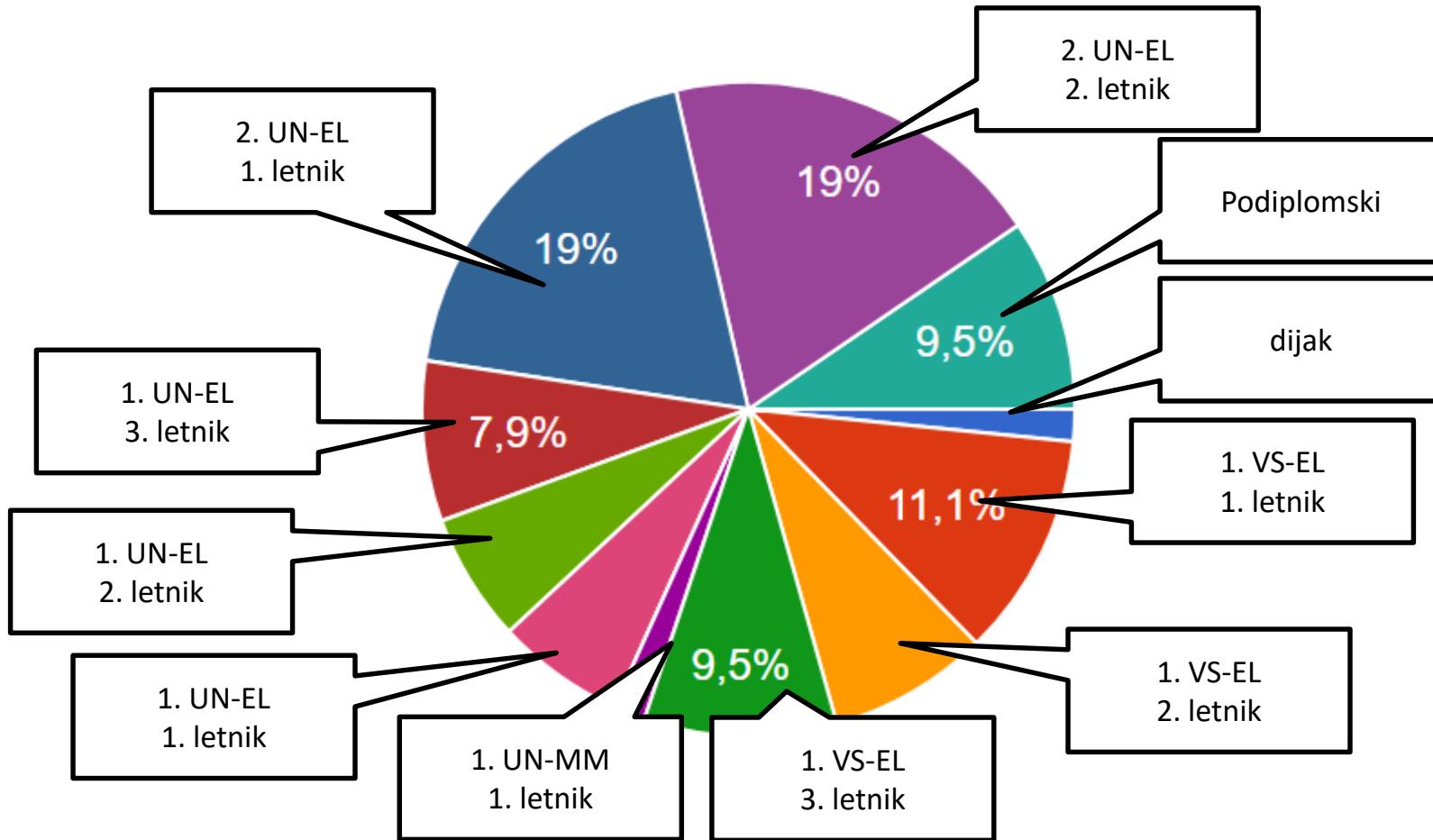
Lastnost	Vrednost	Opomba
<b>Topologija</b>	DC/DC pretvornik navzdol	Predlagano krmilno vezje za zunanji stikali LM5117-Q1
<b>Območje vhodne napetosti</b>	36 V – 60 V	
<b>Območje nastavljene izhodne napetosti</b>	$14 \text{ V} \pm 0,7\text{V}$	
<b>Vršna vrednost valovitosti izhodne napetosti</b>	0,2 V	Pri osnovni frekvenci preklapljanja
<b>Vršna vrednost valovitosti izhodne napetosti</b>	0,5 V	Vse skupaj
<b>Območje izhodnega toka</b>	[1,4 – 7] A	Pretvornik mora v predpisanim območju delovati v neprekinjenem režimu.
<b>Izhodno breme</b>	Upornost 2 Ohm – 7 A Upornost 10 Ohm – 1.4A	Bremena pripravi MAHLE.
<b>Izkoristek pretvornika</b>	Večji od 75%	Merjen pri 48V vhodni napetosti in pri maksimalnem izhodnem toku 7A.
<b>Dolgotrajno delovanje</b>	Največji dovoljeni temperaturi Ts in Tj glede na podatke komponent	Nobena komponenta ne sme biti preobremenjena



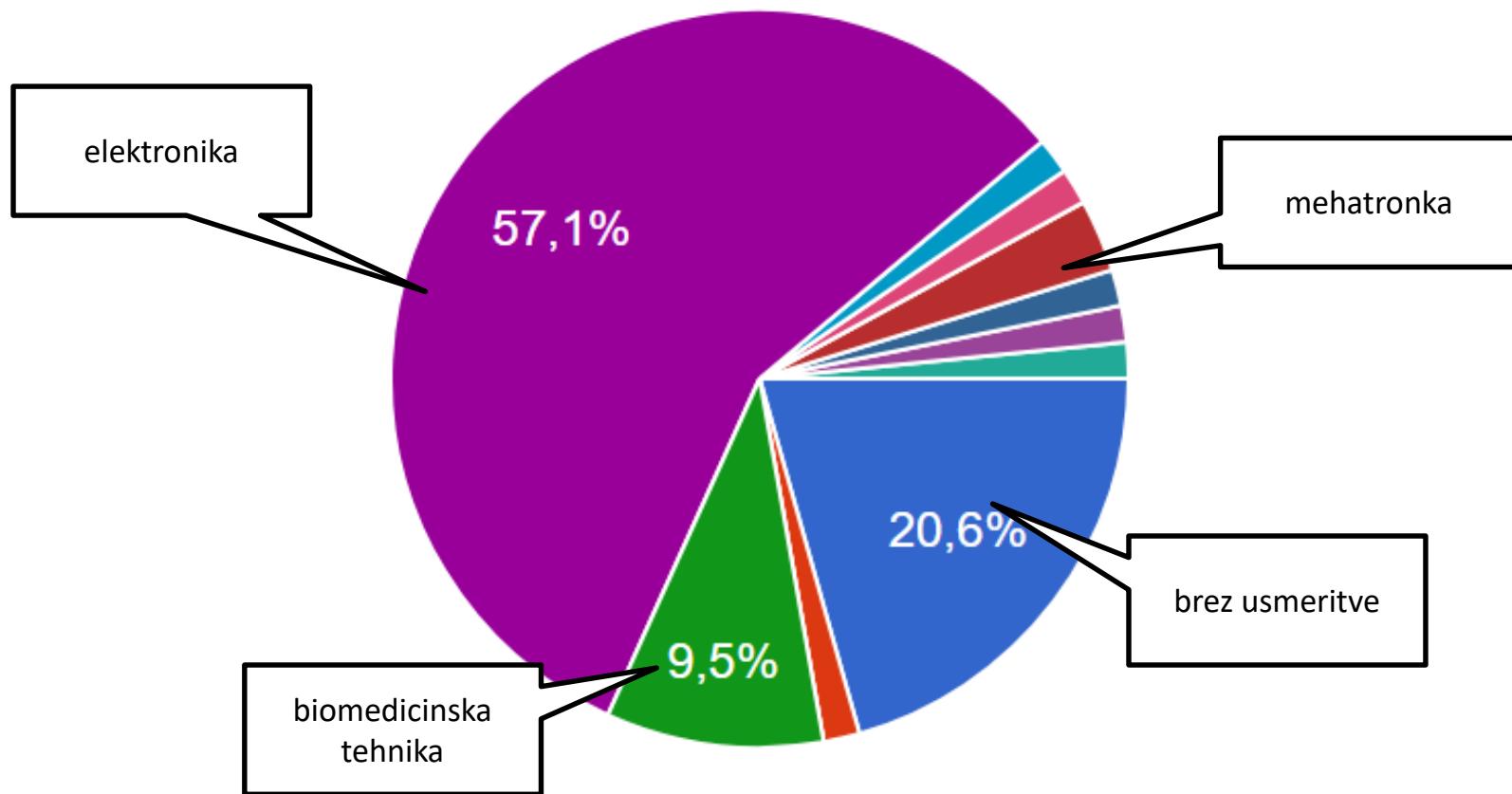
# Vzpodbuda

- MAHLE Electric Drives Slovenija
  - › 1000 €
- Sentinel in iSystem labs
  - › 350 €.
- Hella Saturnus
  - › Elektromaterial po izbiri s Farnella v vrednosti 200 €
- Texas instruments:
  - › [EZ430-CHRONOS-868](#) razvojno orodje - brezžična pametna ura.
- SIQ
  - › Digitalni multimeter [UT139C](#)
  - › Izvajanje prakse oz. študentskega dela v enem od najmodernejših EMC laboratoriјev v Evropi.
- Wurth elektronik
  - › Elektromaterial za delavnico
  - › Doživljenjski free-refill design kiti
- Amiteh
  - › Meritve z EMC skenerjem
  - › Keysight multimeter
- HT-Eurep
  - › Študentske licence Altium designer in 2x demo board za GPS, LTE+GNSS, proizvajalca Neoway.
- Svet elektronike
  - › Brezplačni izvodi revij.

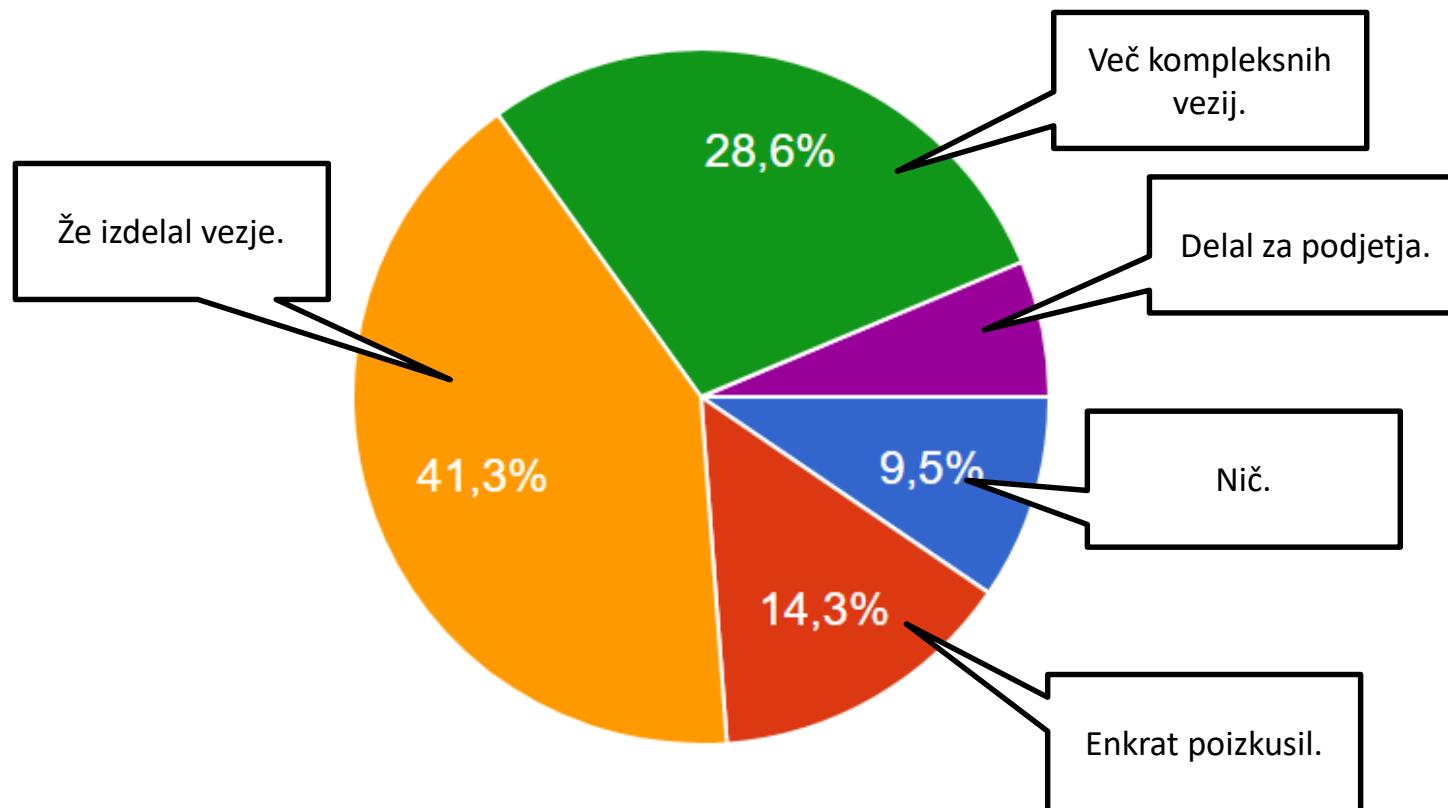
# Prijave po programih – vseh prijavljenih 71



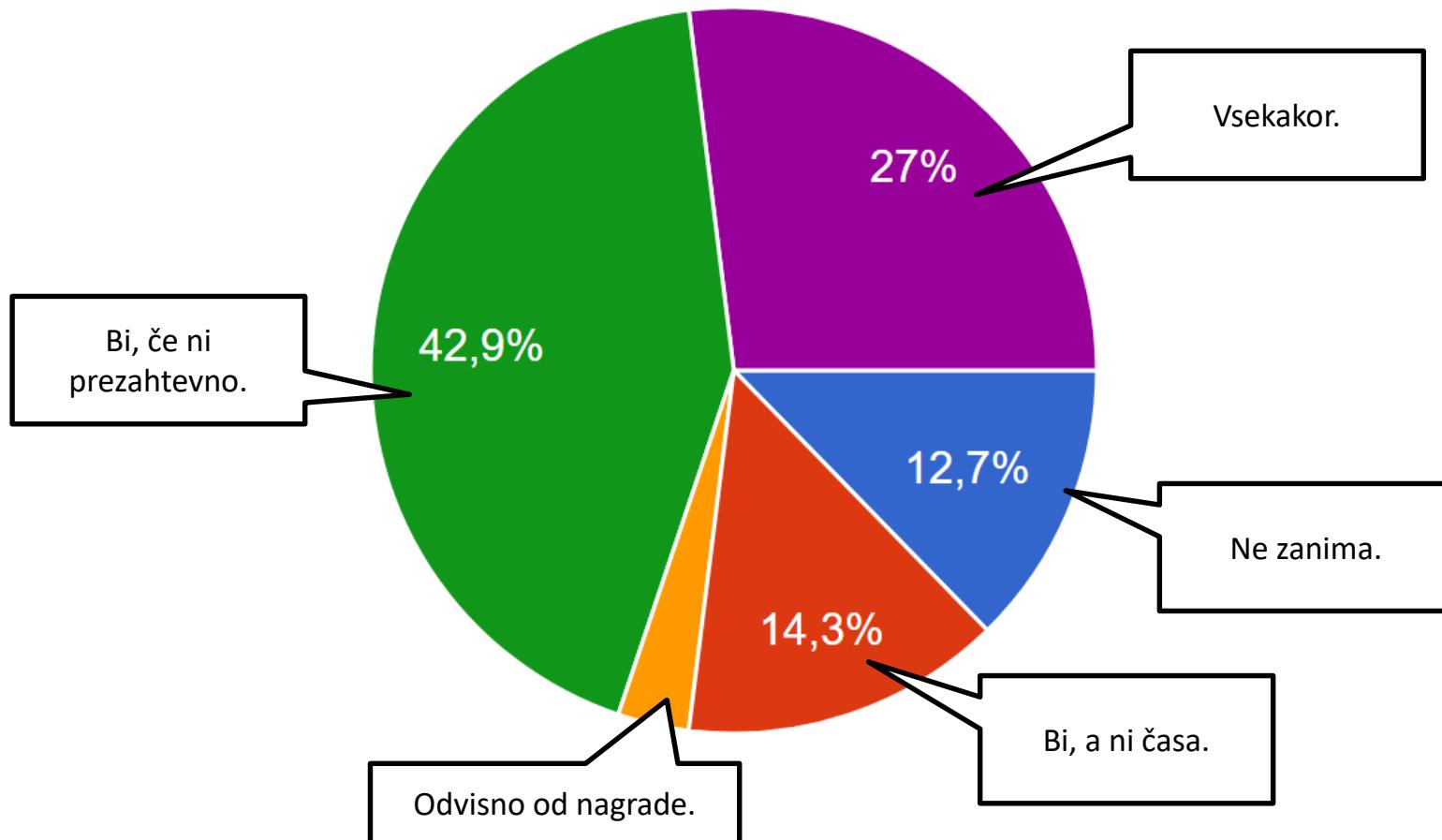
# Prijave po smereh



# Pretekle izkušnje z načrtovanjem TIV



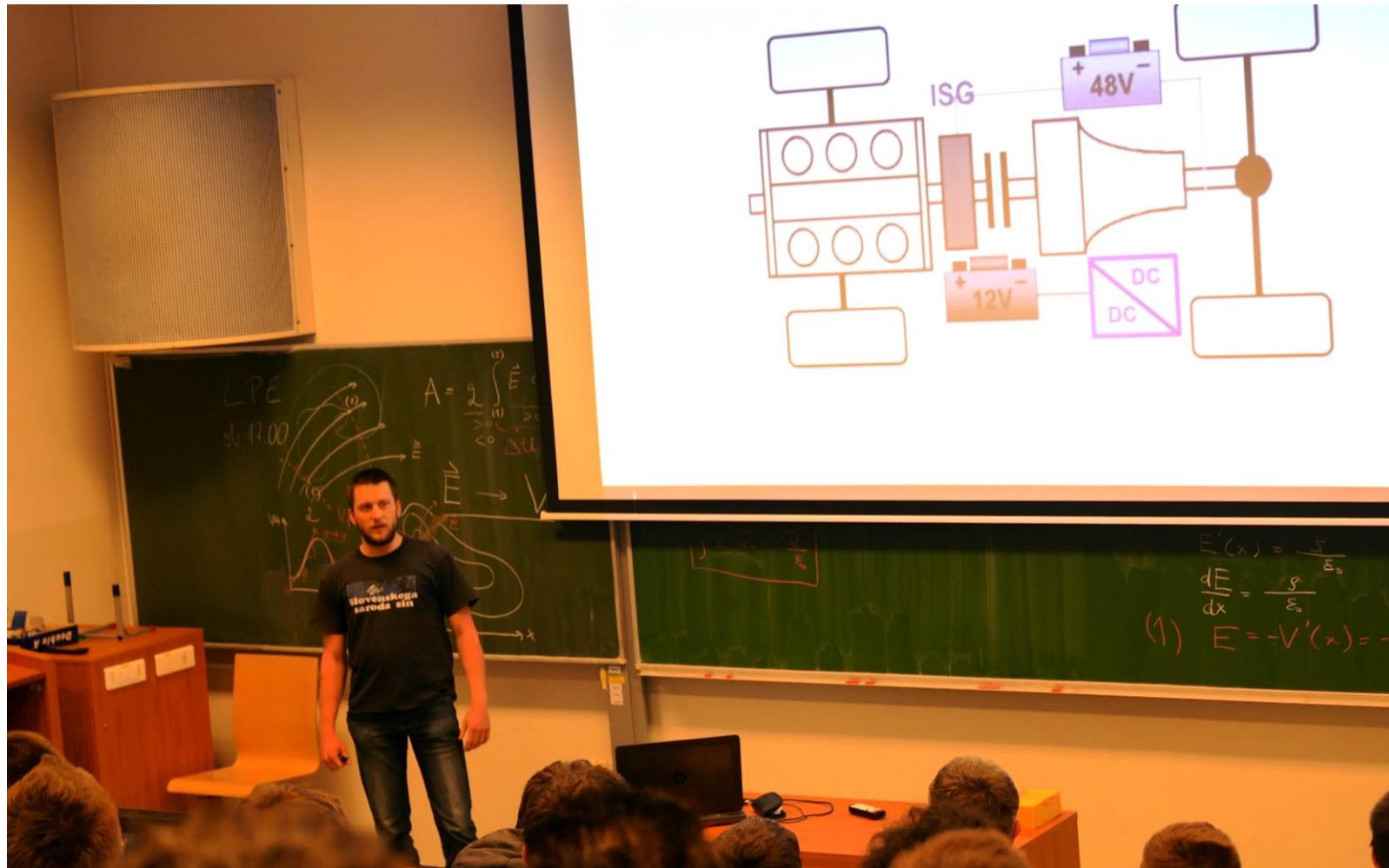
# Sodelovanje pri tekmovanju



# Predavanja



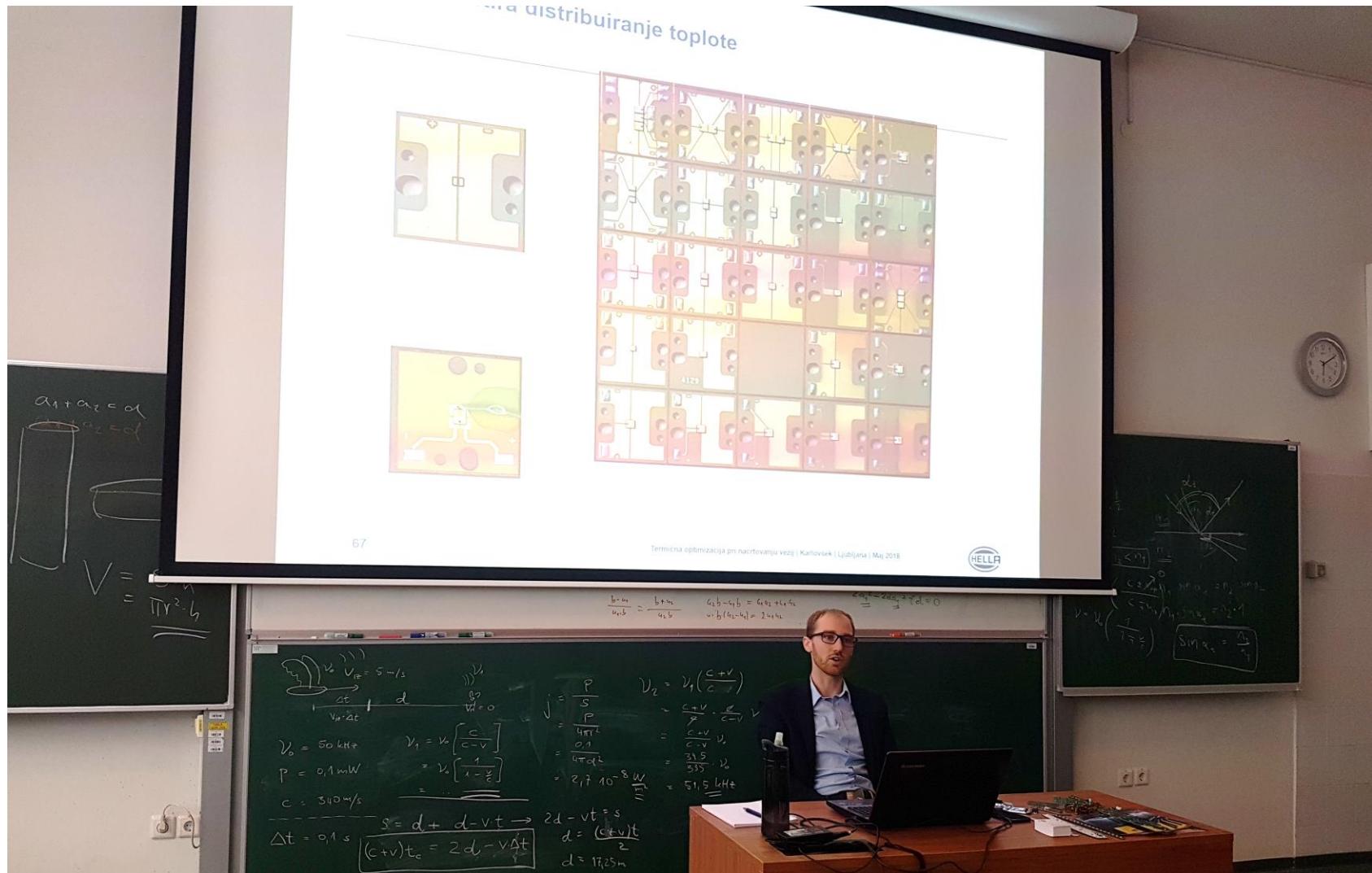
# Predavanja



# Predavanja



# Predavanja



# Predavanja



# Predavanja



# Tečaj Altium



# Ekskurzija



# Ekskurzija



# Ekskurzija

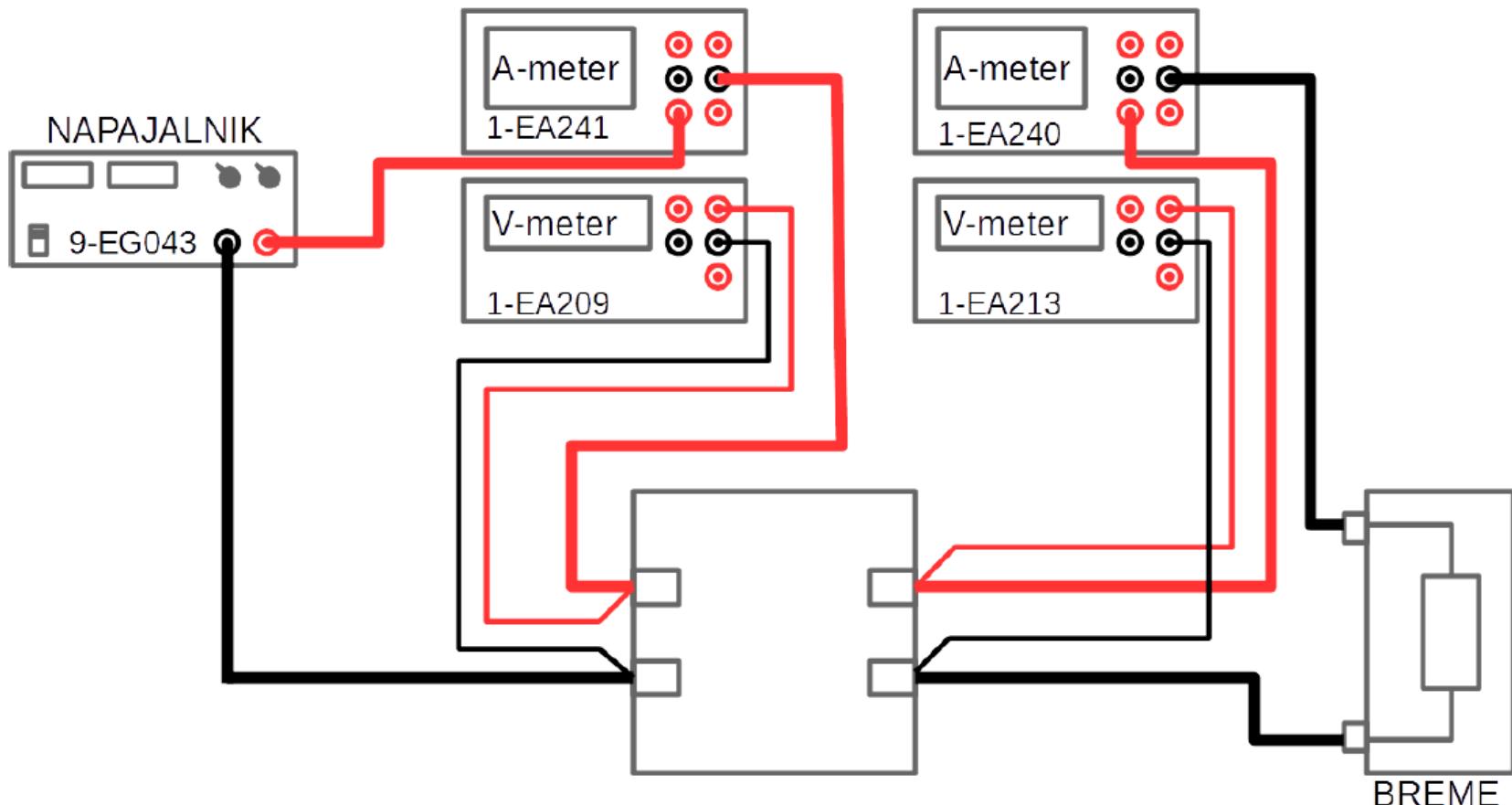


# Ekskurzija

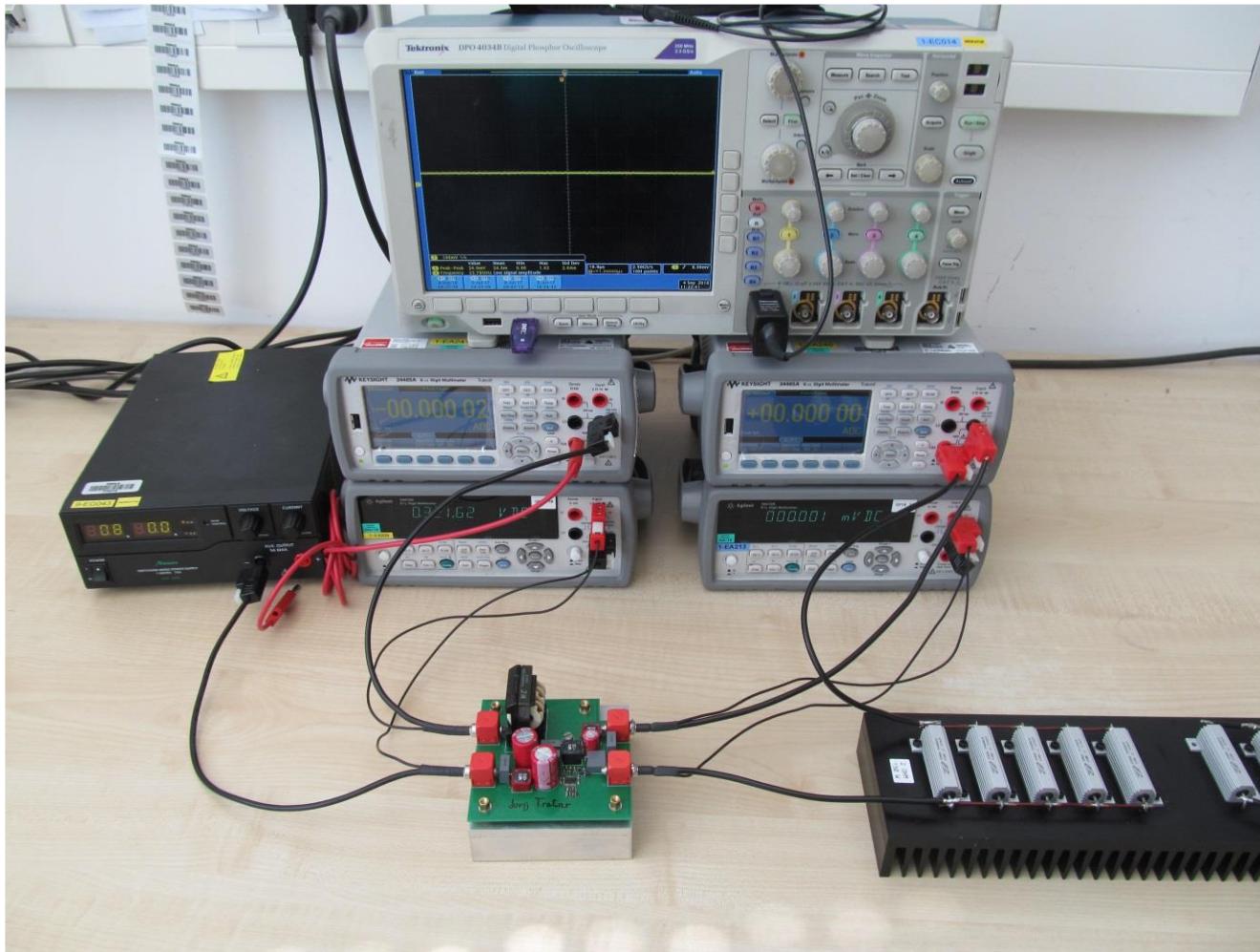


# Analiza rezultatov

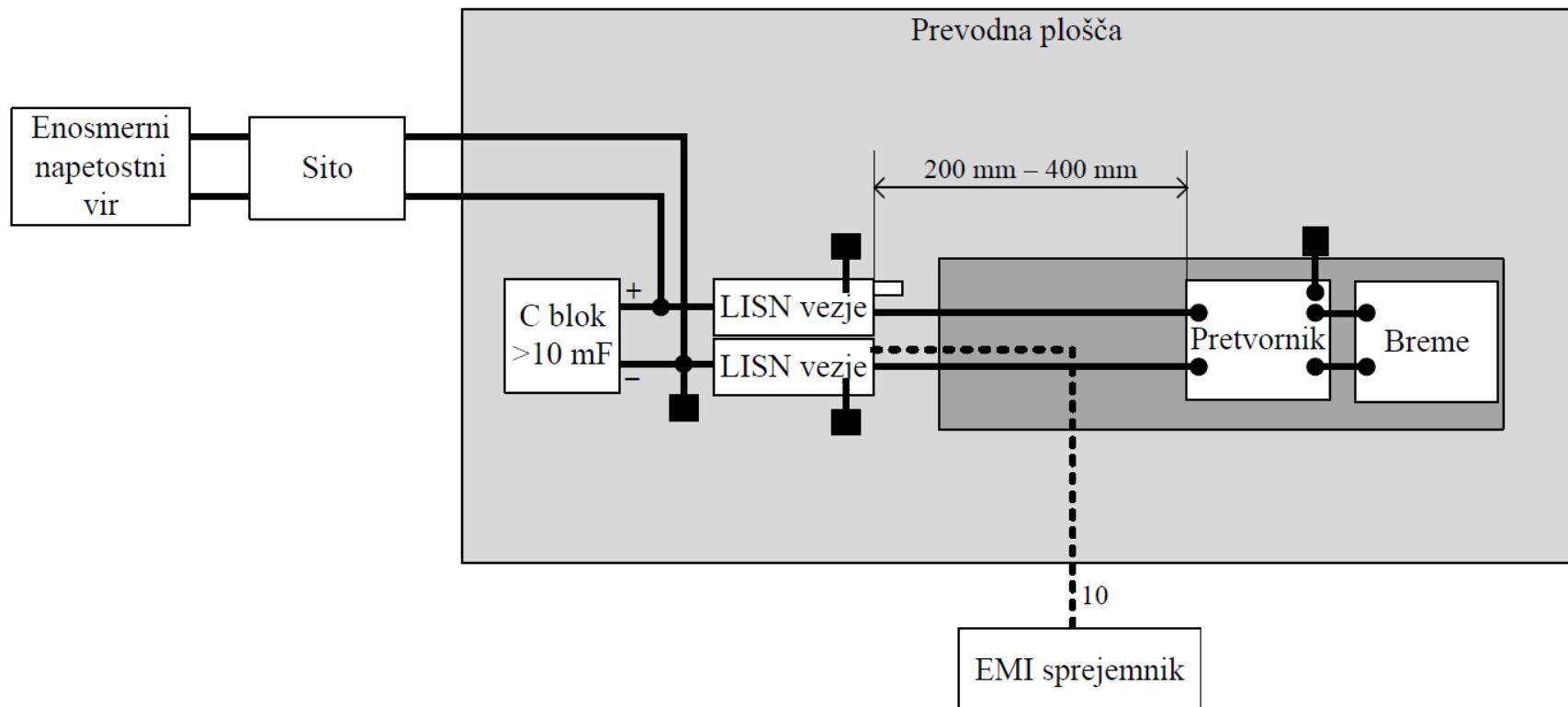
# Preizkušanje električnih karakteristik



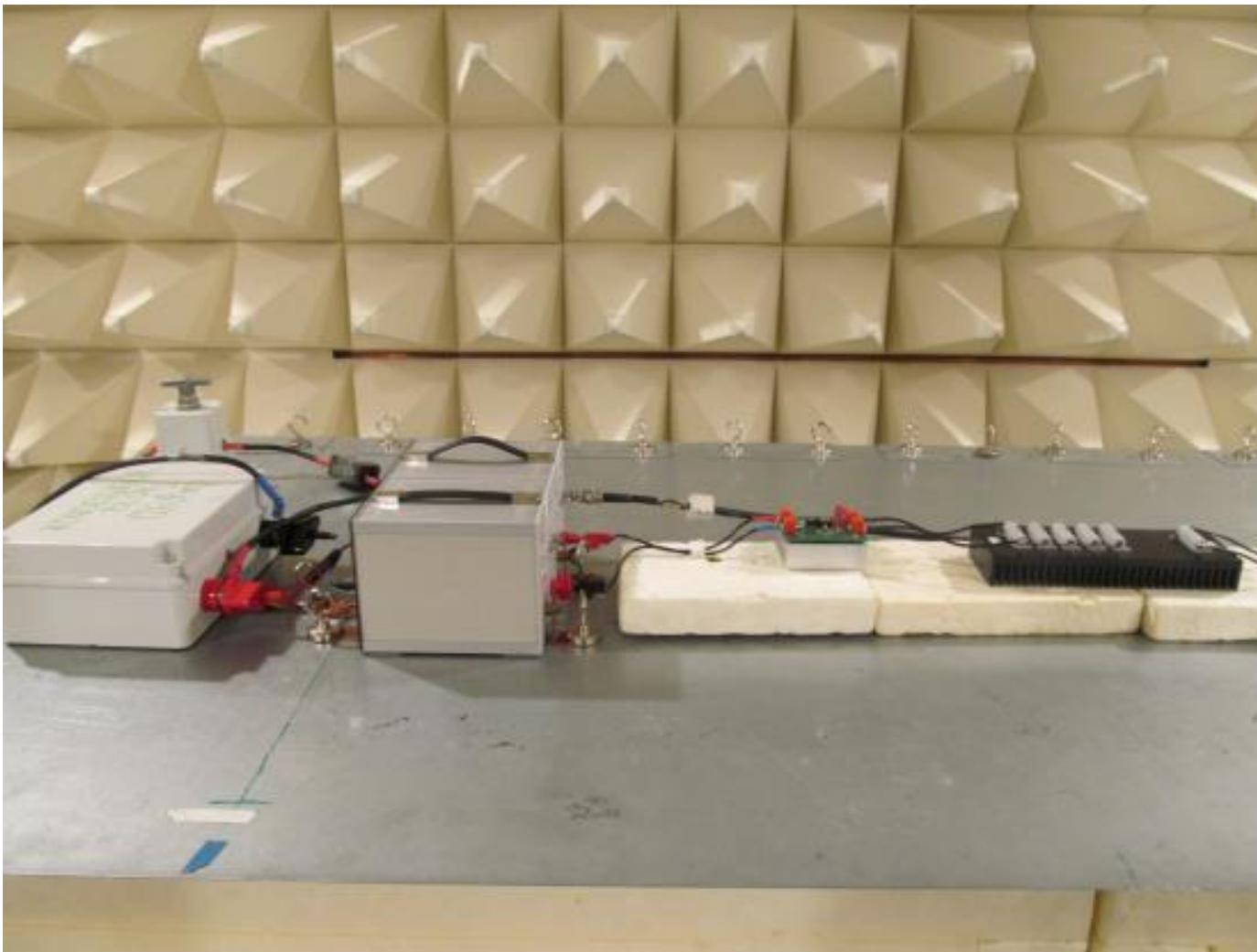
# Preizkušanje električnih karakteristik



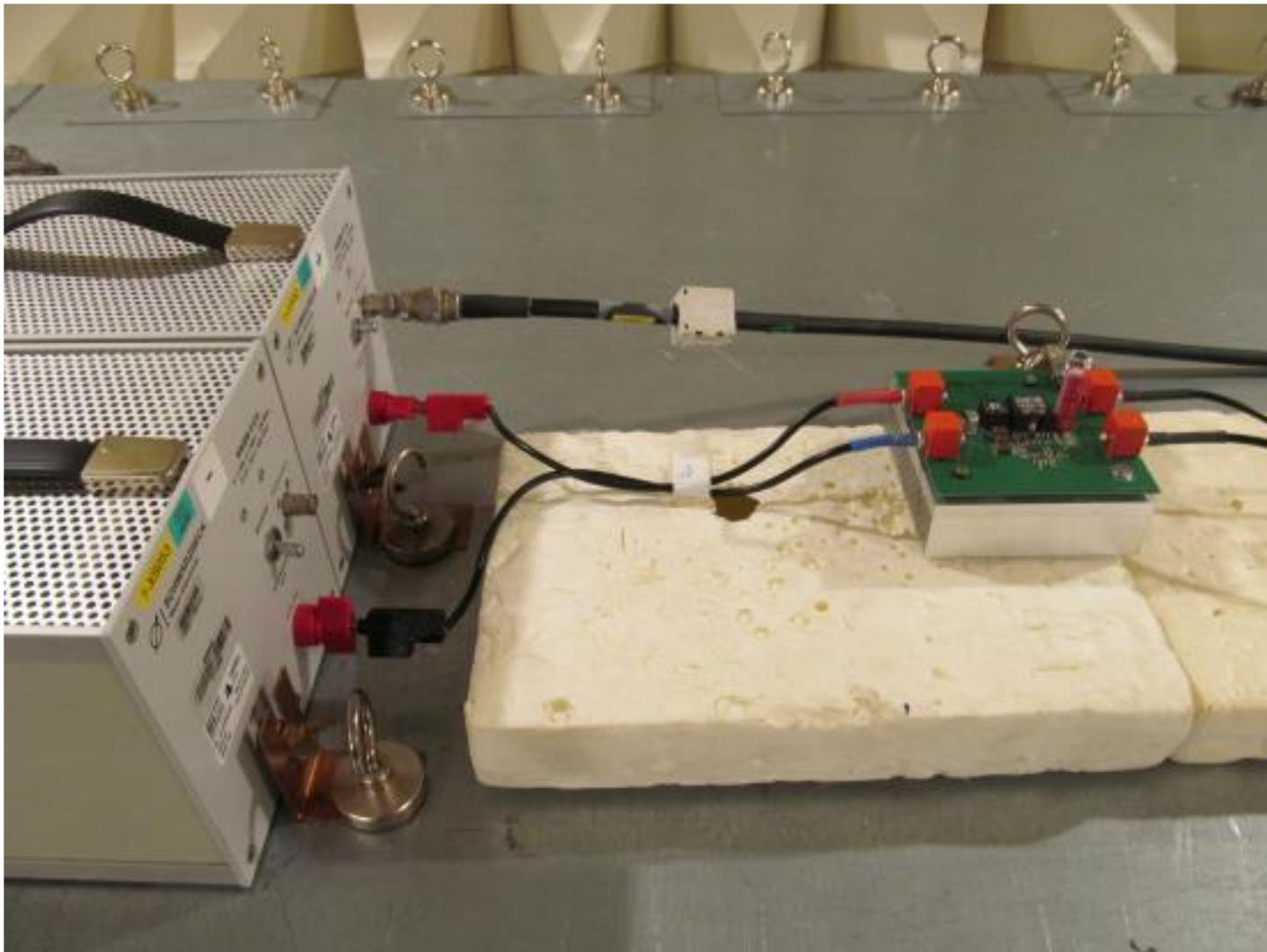
# Meritve prevodnih emisij



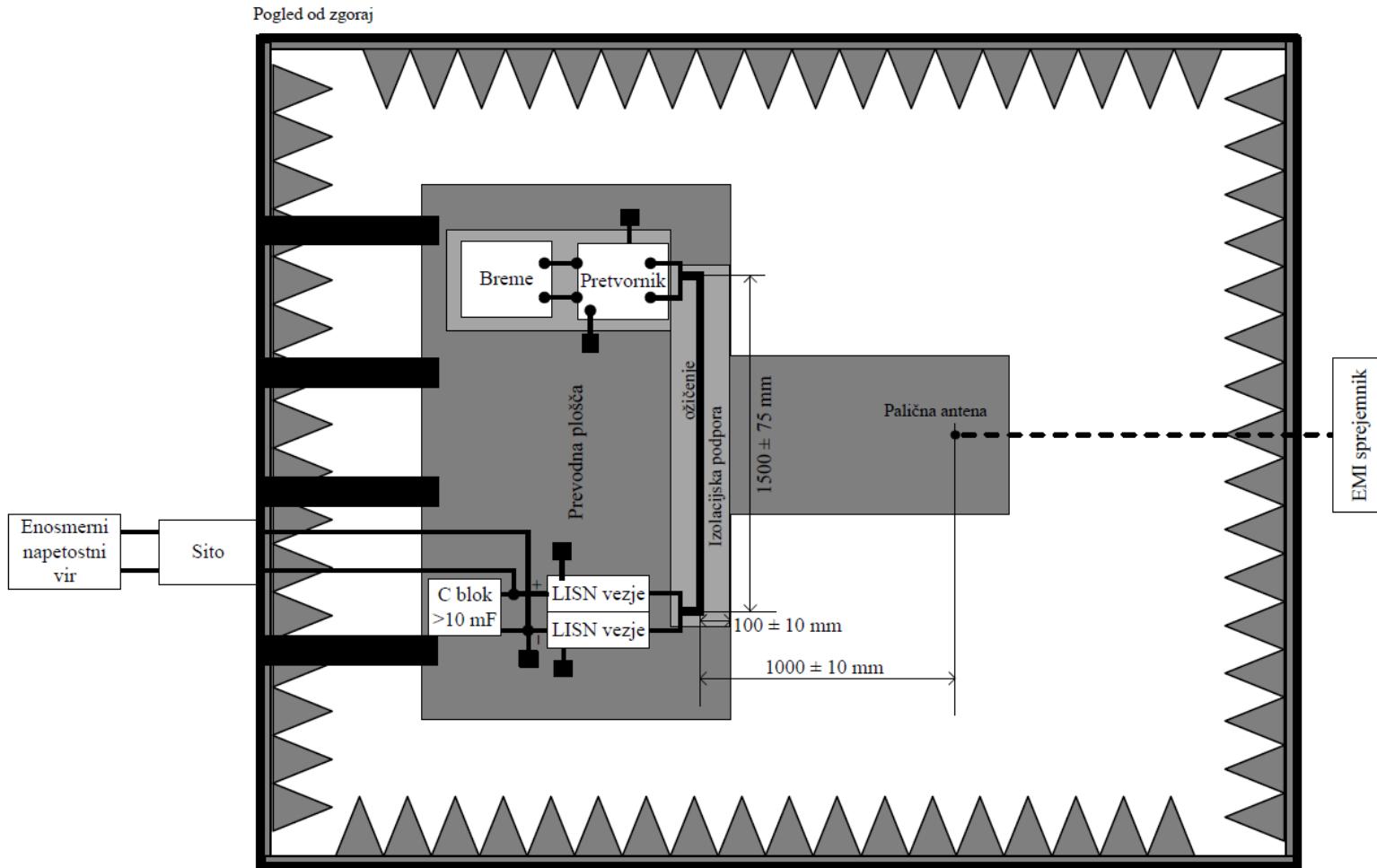
# Meritve prevodnih emisij



# Meritve prevodnih emisij



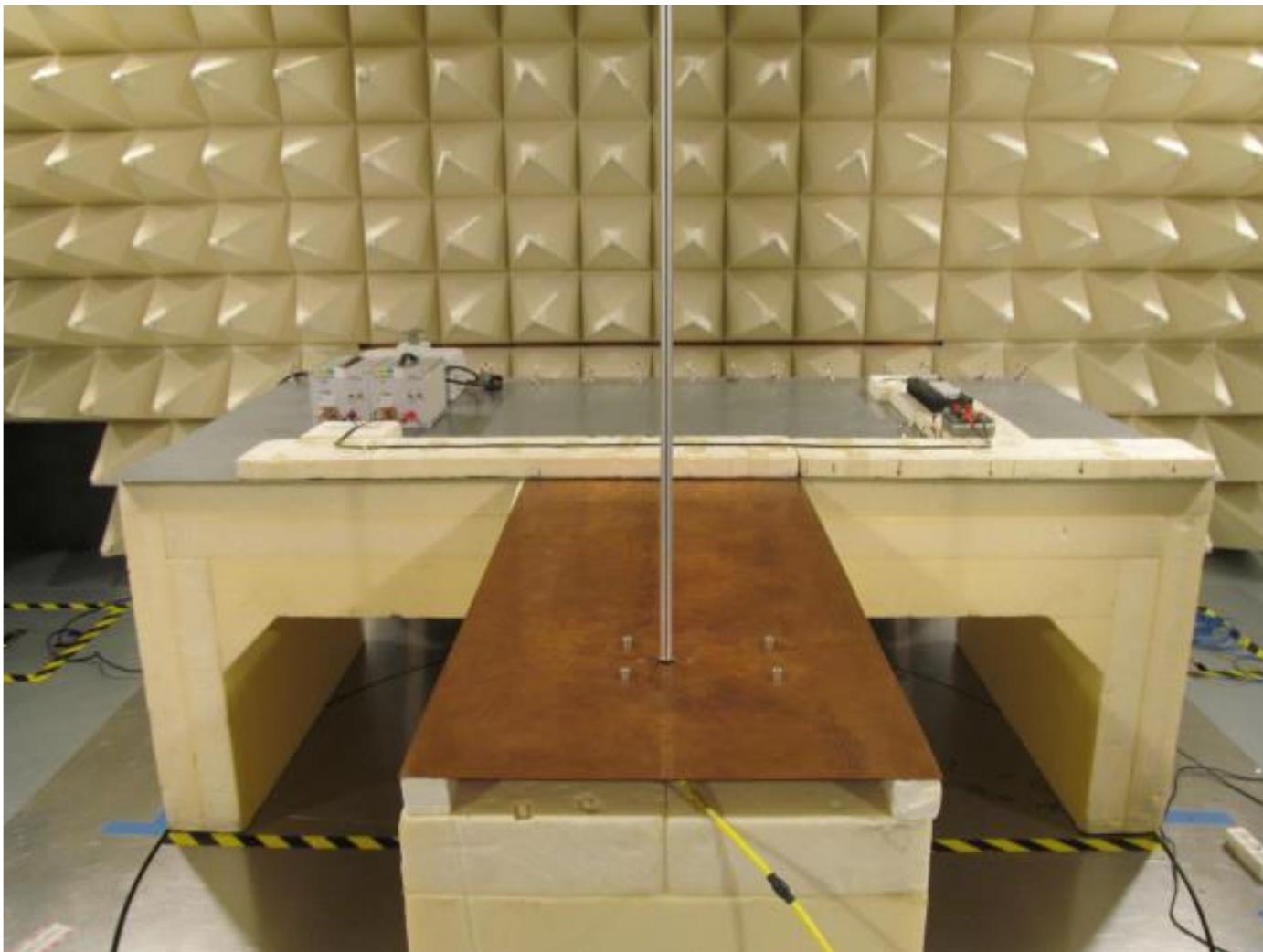
# Meritve sevalnih emisij do 30 MHz



# Meritve sevalnih emisij do 30 MHz

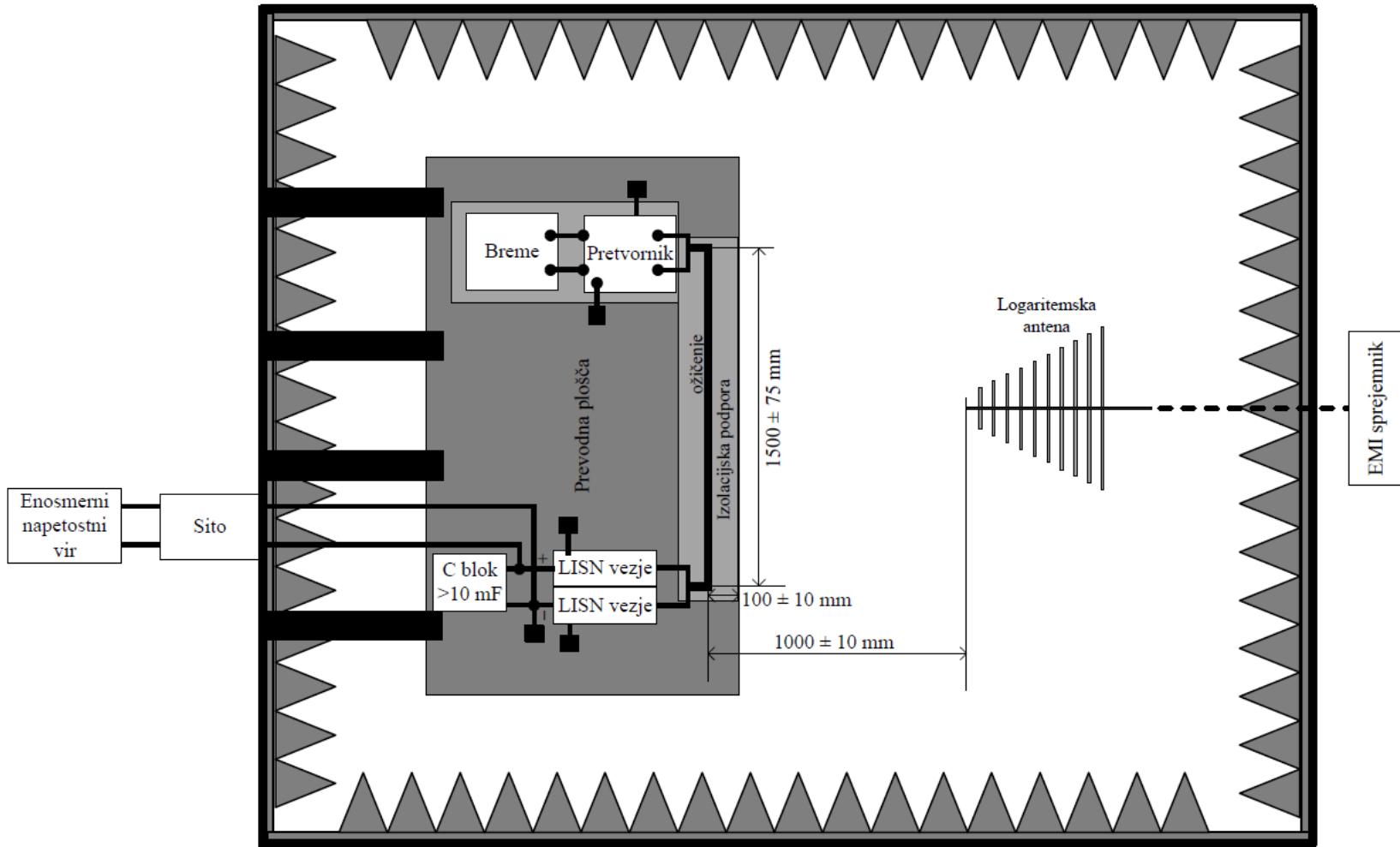


# Meritve sevalnih emisij do 30 MHz

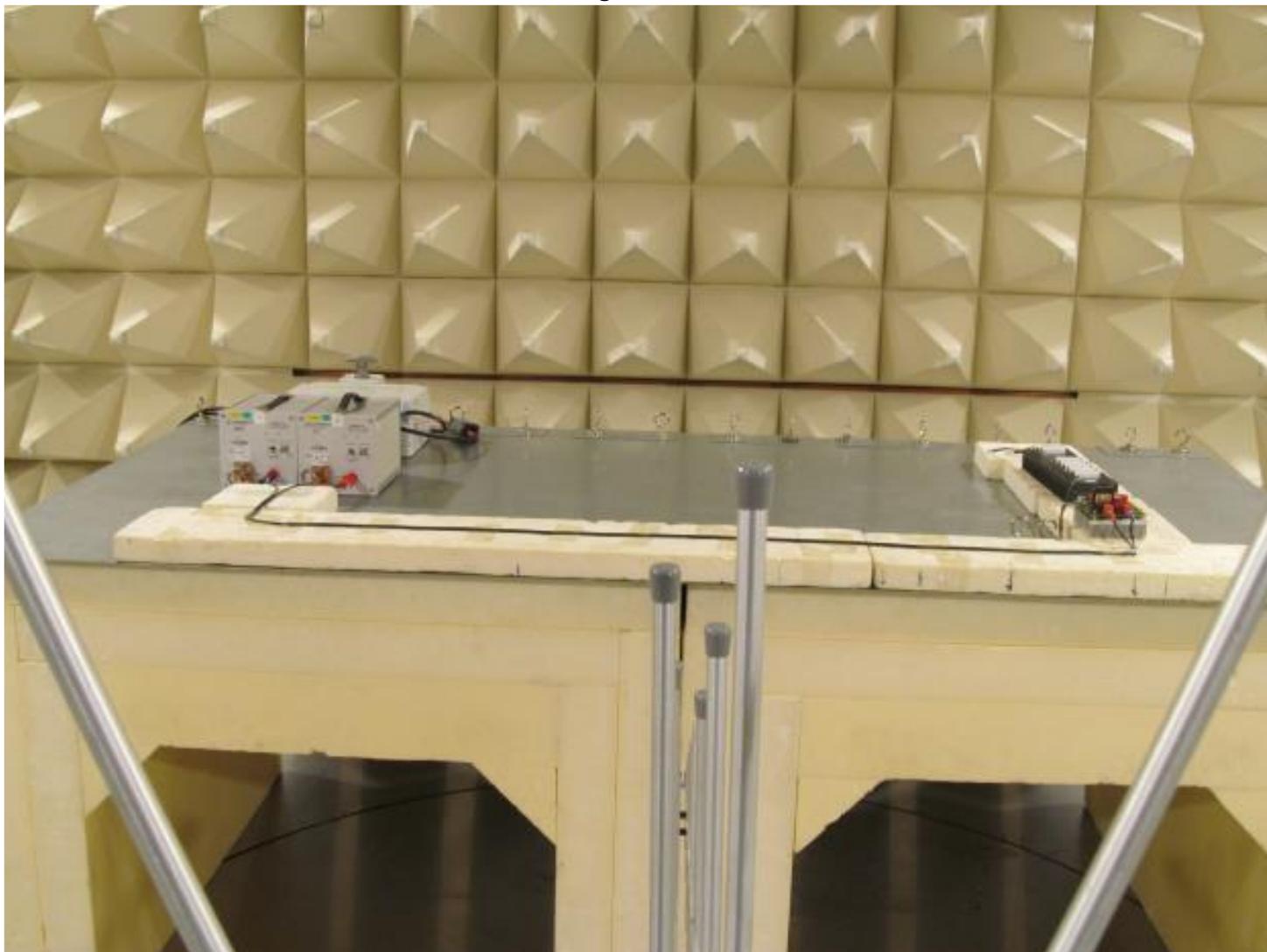


# Meritve sevalnih emisij do 1 GHz

Pogled od zgoraj



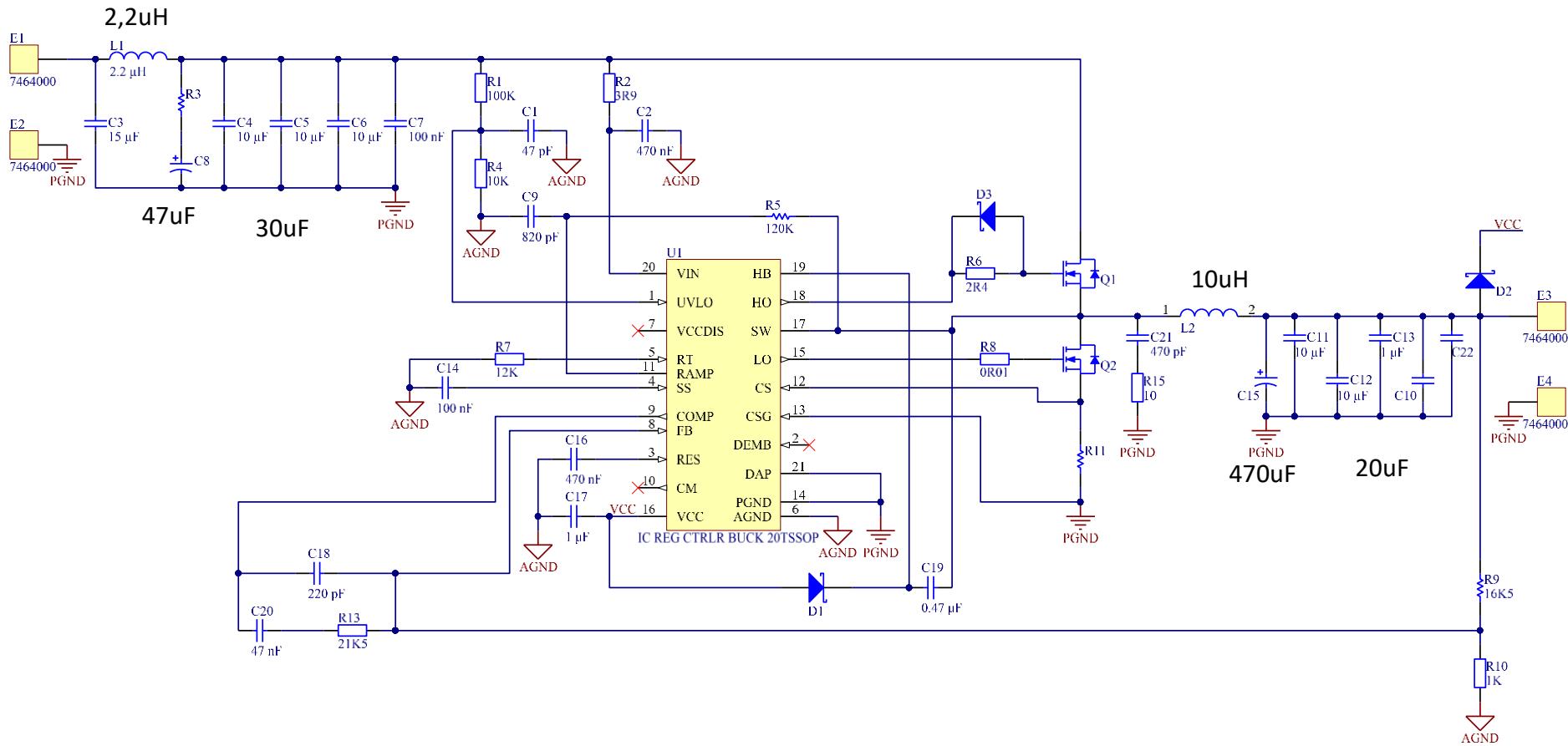
# Meritve sevalnih emisij do 1 GHz



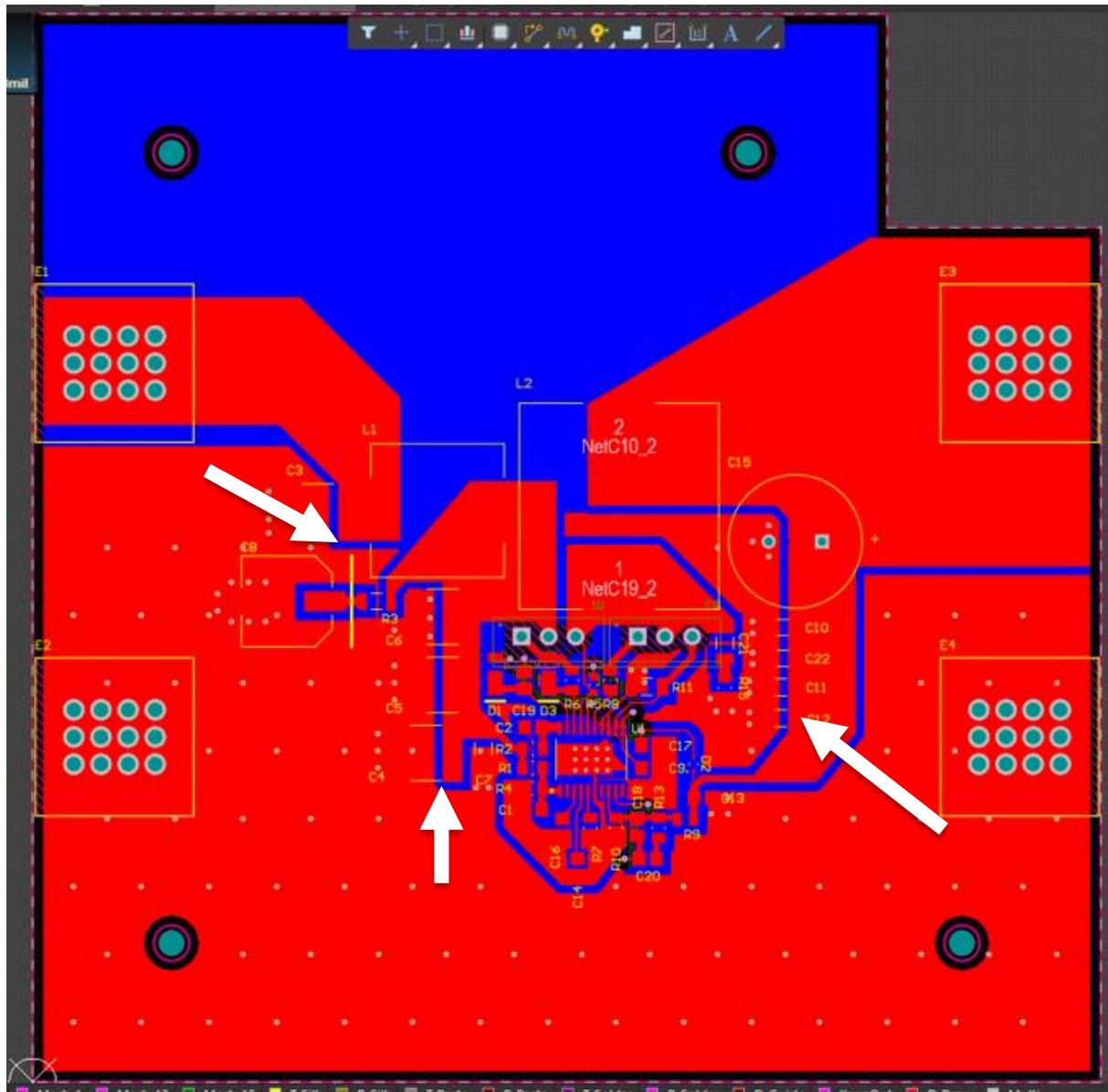
# Tekmovalci

- 14 študentov je naročilo material za projekt
- 12 študentov je naročilo tiskana vezja
- Od tega je oddalo projekte 8 študentov
  - › Aljaž Kovačič, 2. letnik MAG elektronika
  - › Gašper Skvarč Božič, 1. letnik MAG elektronika
  - › Jaka Koren, 2. letnik MAG elektronika
  - › Jure Štojs, 2. letnik MAG robotika
  - › Jurij Tratar, 1. letnik MAG mehatronika
  - › Marko Pavlovič, 1. letnik MAG elektronika
  - › Matic Novak, 2. letnik MAG elektronika
  - › Vid Oblak, 1. letnik VS

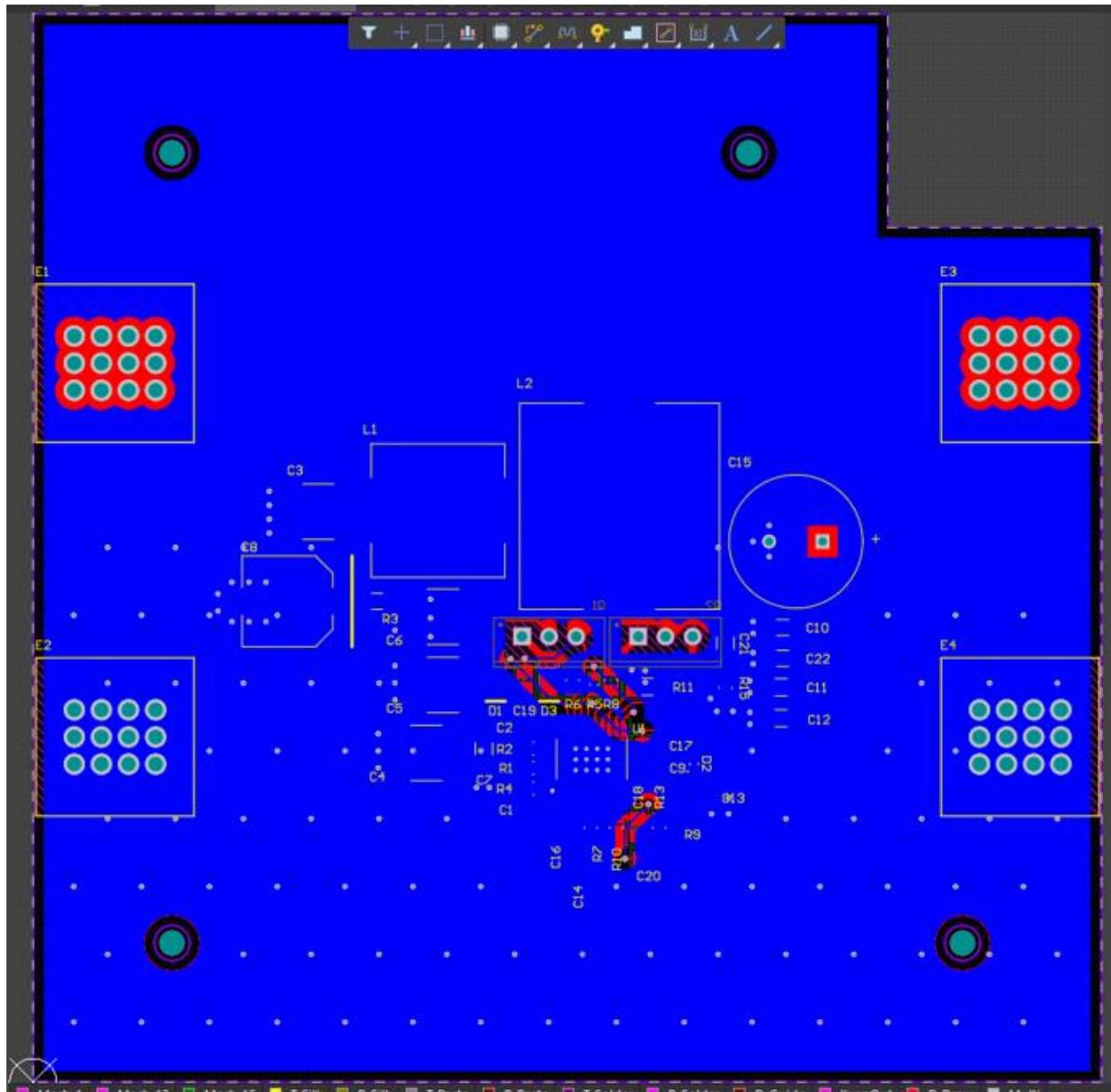
# Aljaž Kovačič

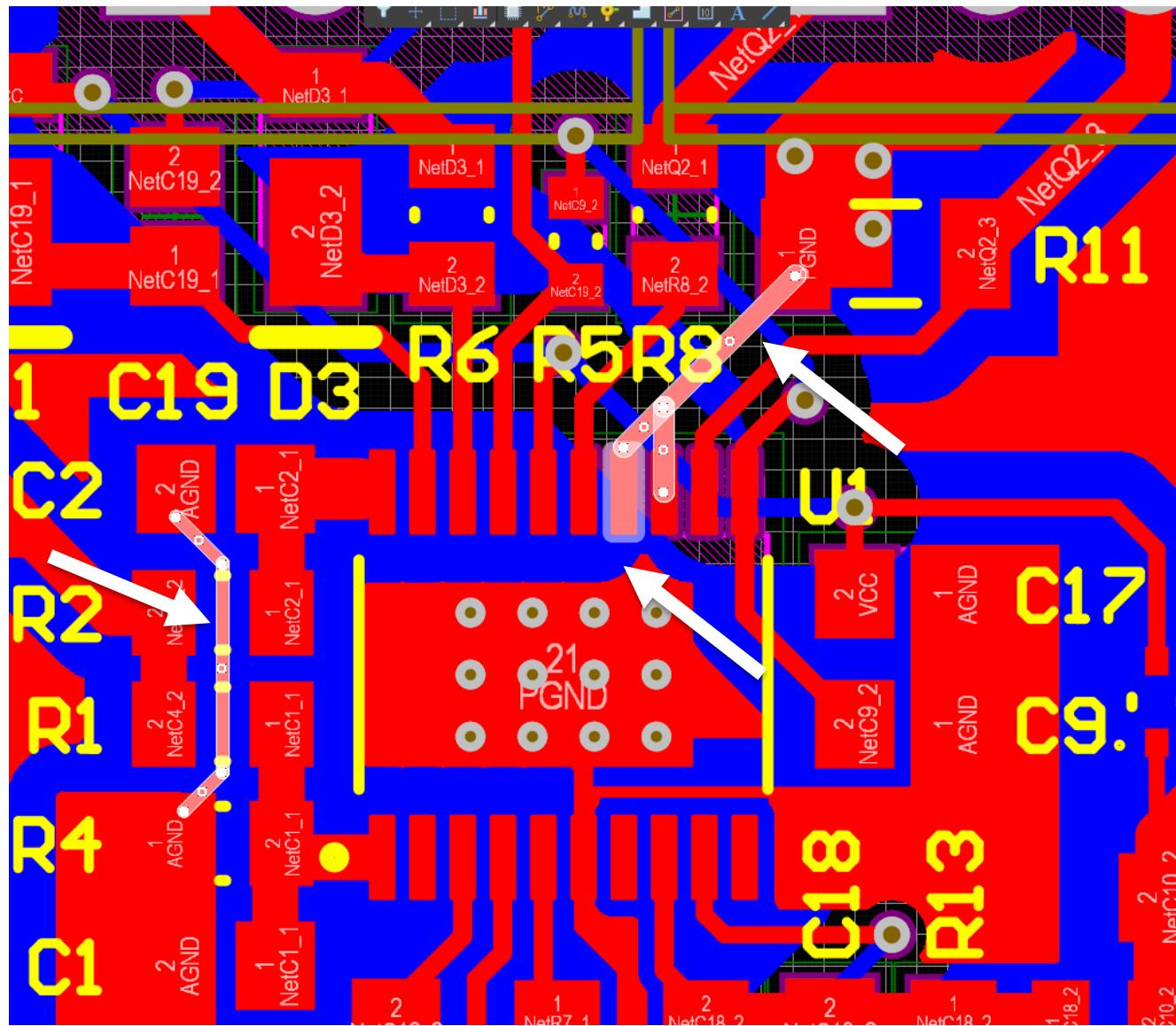


# Aljaž Kovačič

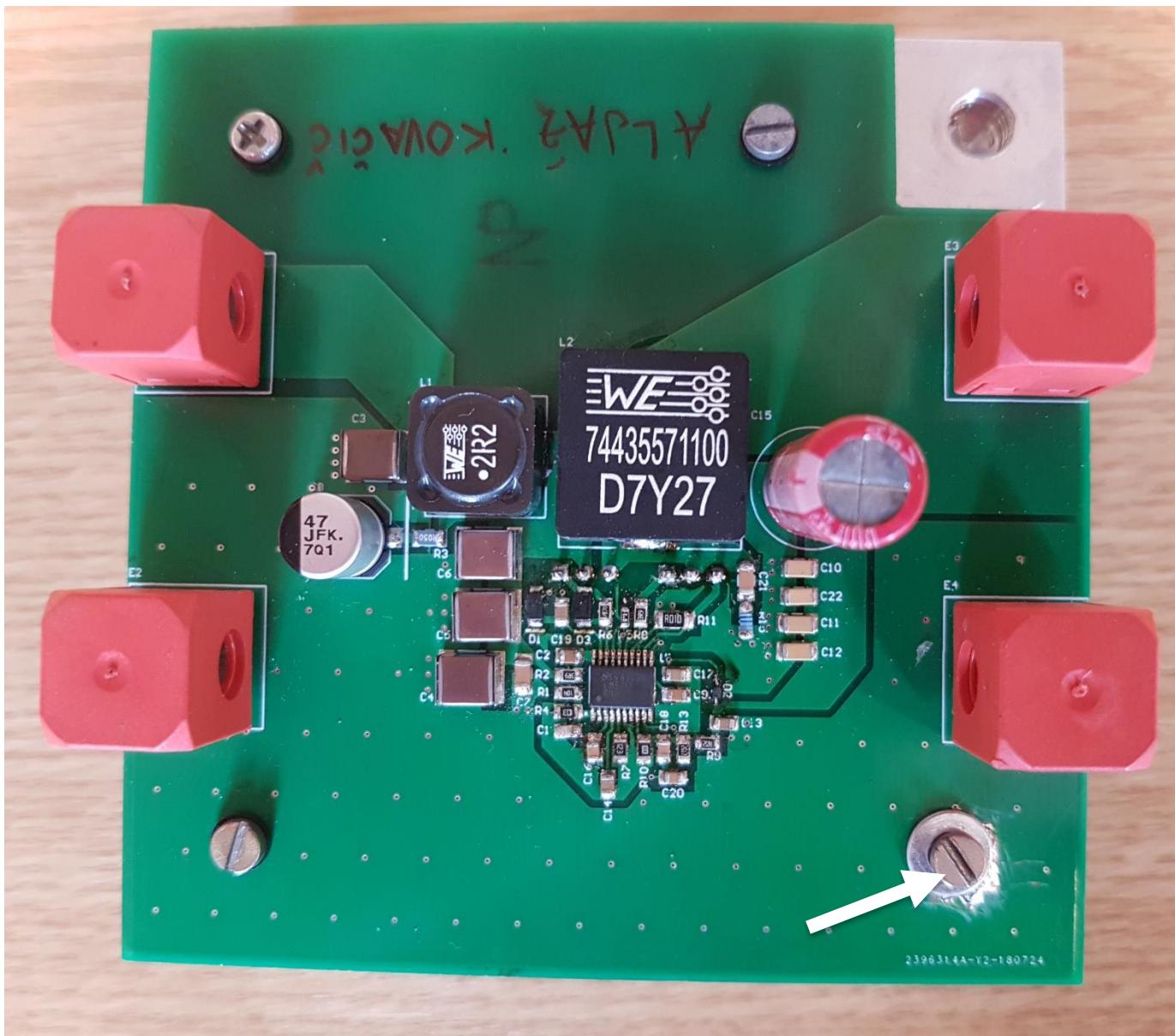


# Aljaž Kovačič

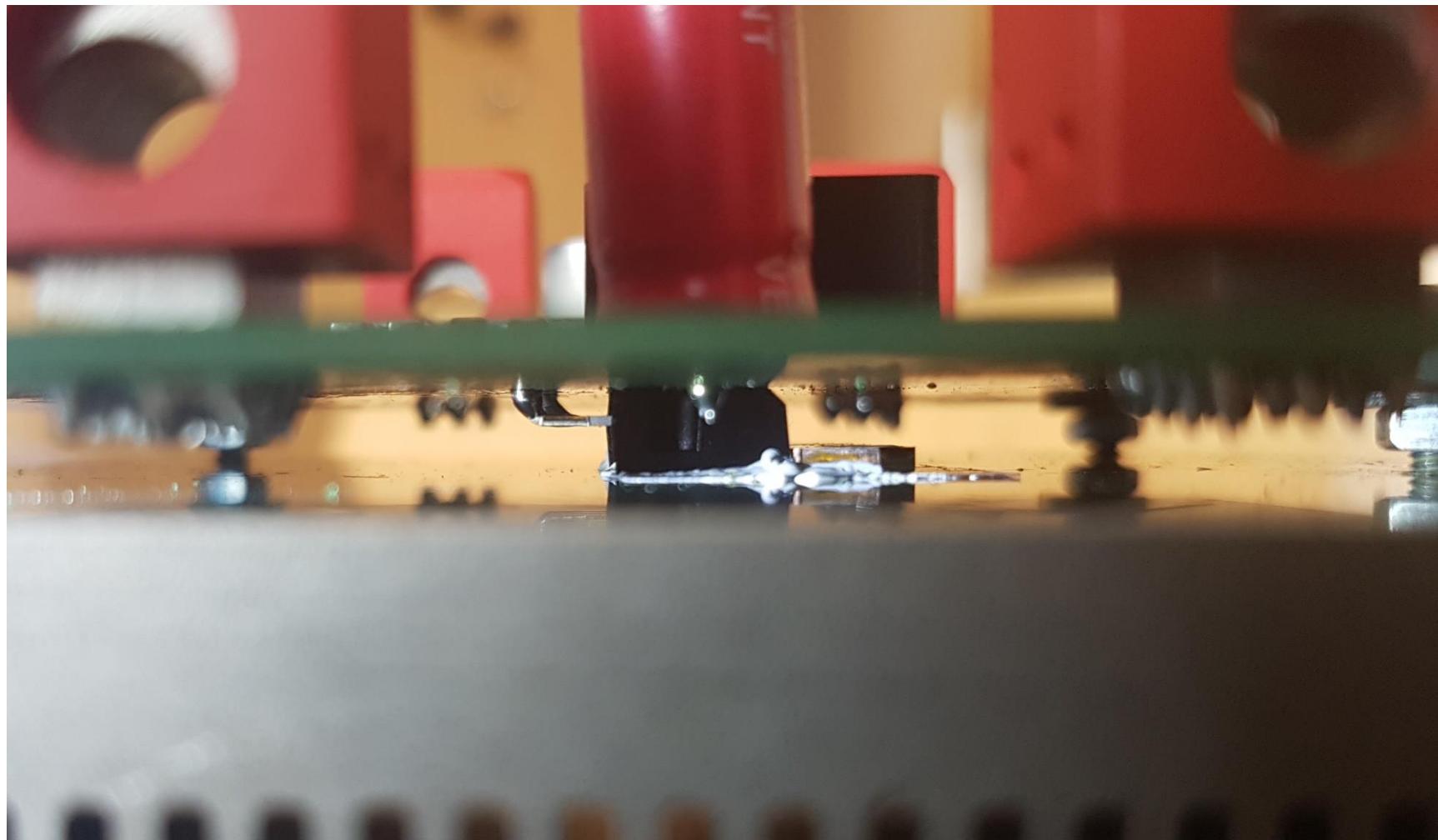


Aljaž  
Kovačič

Aljaž  
Kovačič



# Aljaž Kovačič



# Aljaž Kovačič: Električne meritve

Študent	/	$R_b = 10 \Omega$			$R_b = 2 \Omega$		
	/	$U_{vh} = 36 \text{ V}$	$U_{vh} = 48 \text{ V}$	$U_{vh} = 60 \text{ V}$	$U_{vh} = 36 \text{ V}$	$U_{vh} = 48 \text{ V}$	$U_{vh} = 60 \text{ V}$
Aljaž Kovačič	$I_{vh} [\text{A}]$	0,614	0,471	0,385	2,81	2,174	1,772
	$I_{izh} [\text{A}]$	1,391	1,391	1,391	6,622	6,610	6,640
	$U_{izh} [\text{V}]$	14,03	14,03	14,03	14,02	14,02	14,04

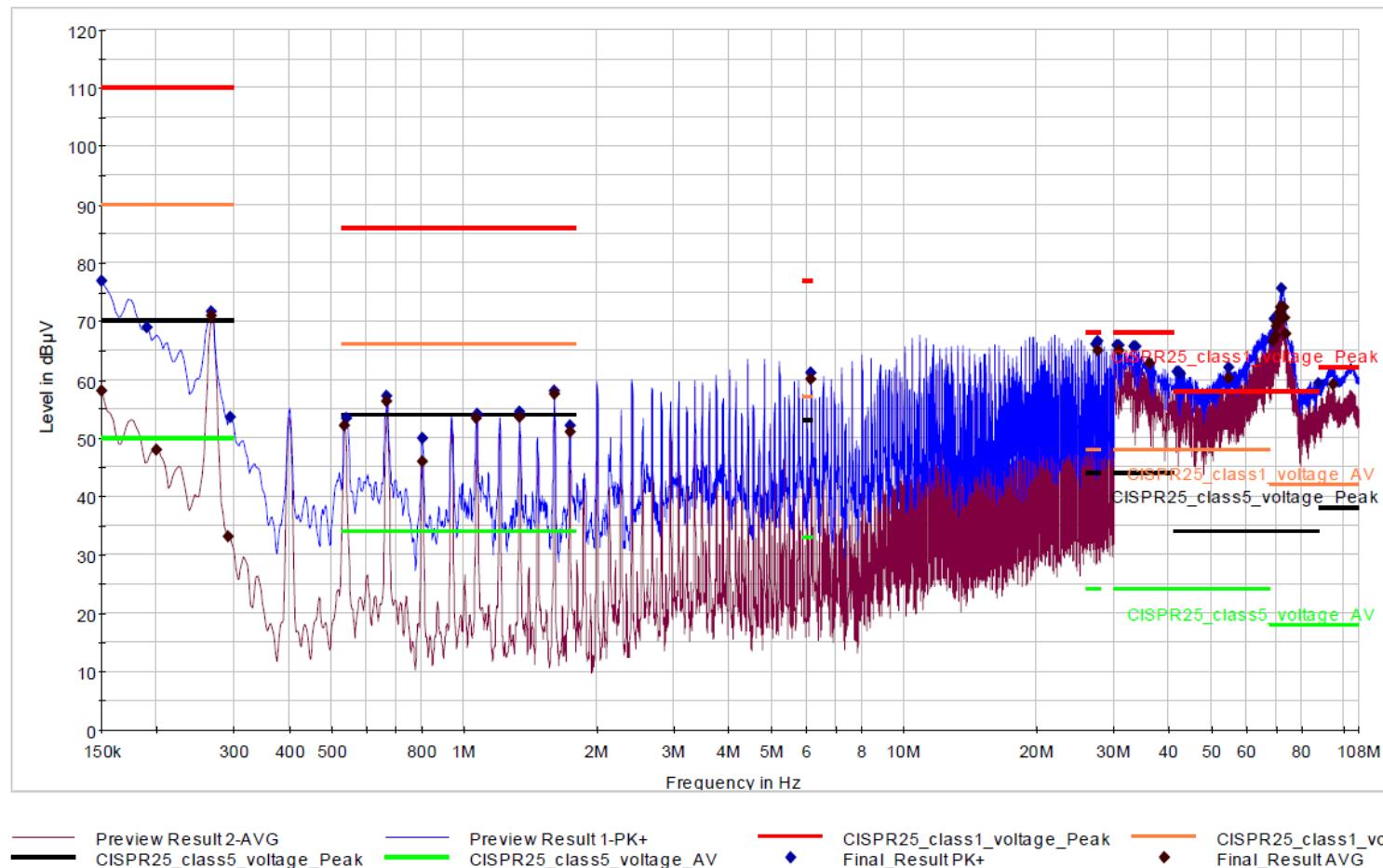
Izkoristek: **89%** (*zahteva nad 75%*)

Valovitost pri osnovni frekvenci: **40 mV** (*zahteva pod 0,2 V*)

Valovitost skupno: **1,06 V** (*zahteva pod 0,5 V*)

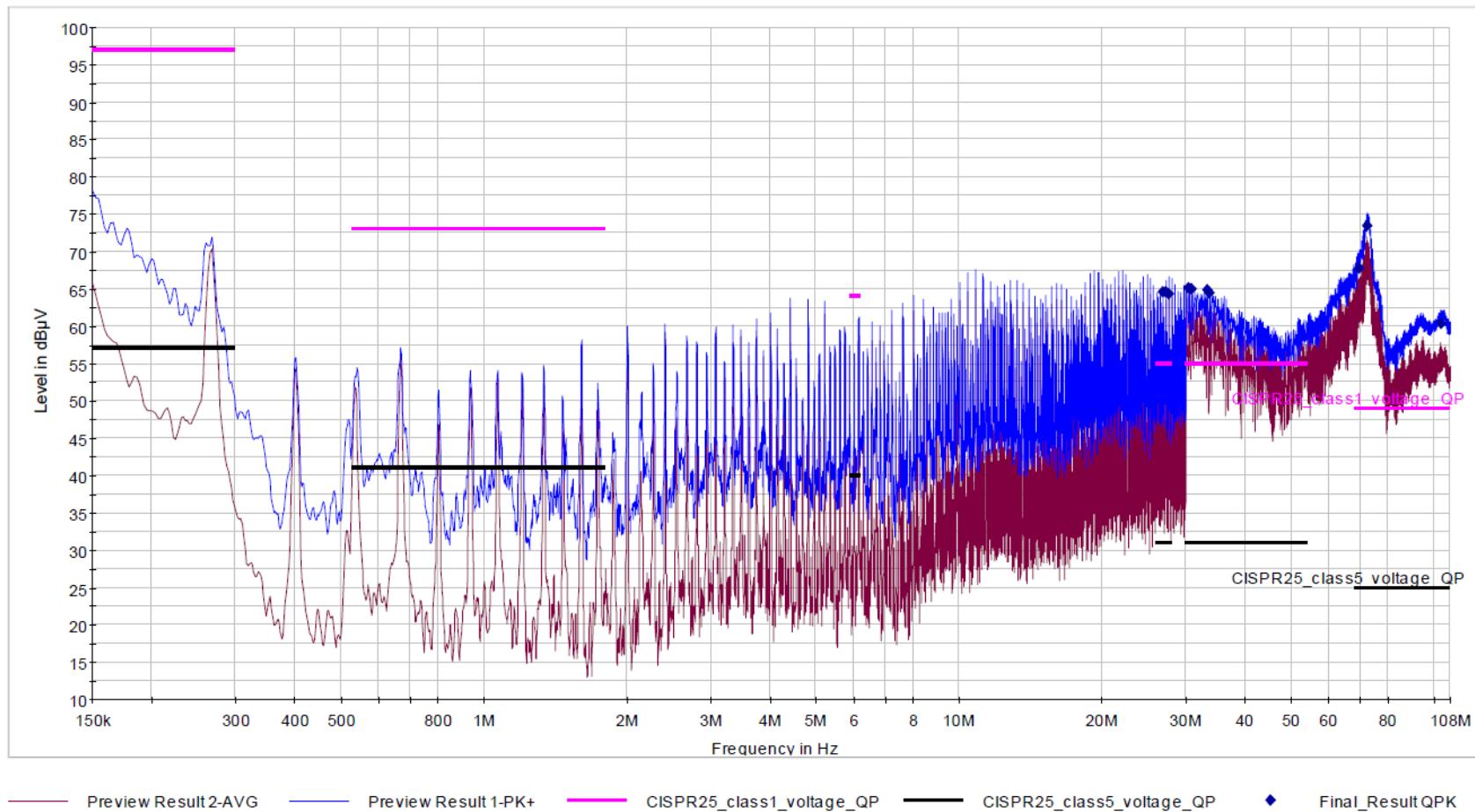
Cena ključnih komponent: **16,80 €**

# Aljaž Kovačič: Prevodne motnje PKAV



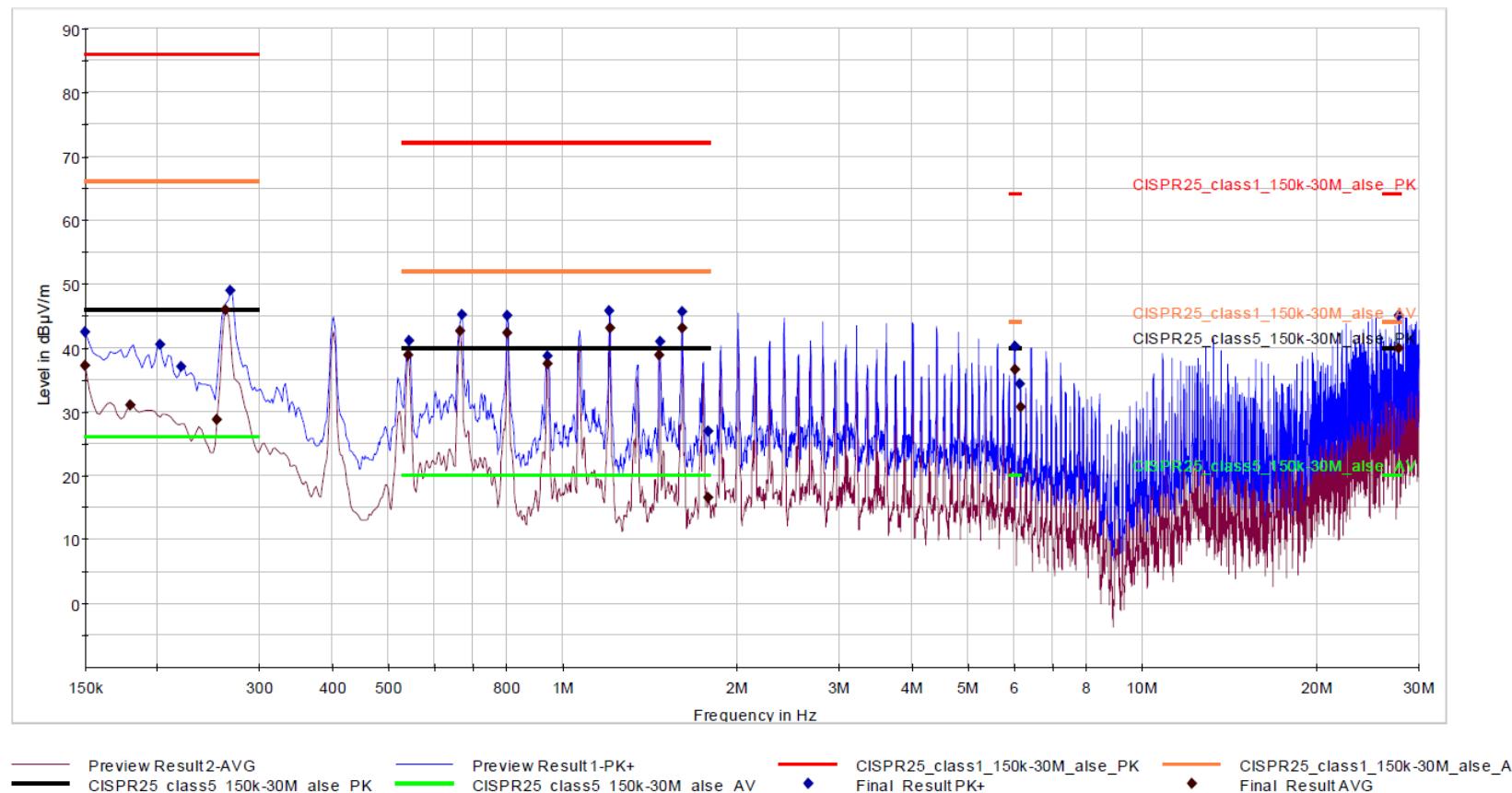
Slika 17: Rezultat na 48V+ priključku s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi

# Aljaž Kovačič: Prevodne motnje QP



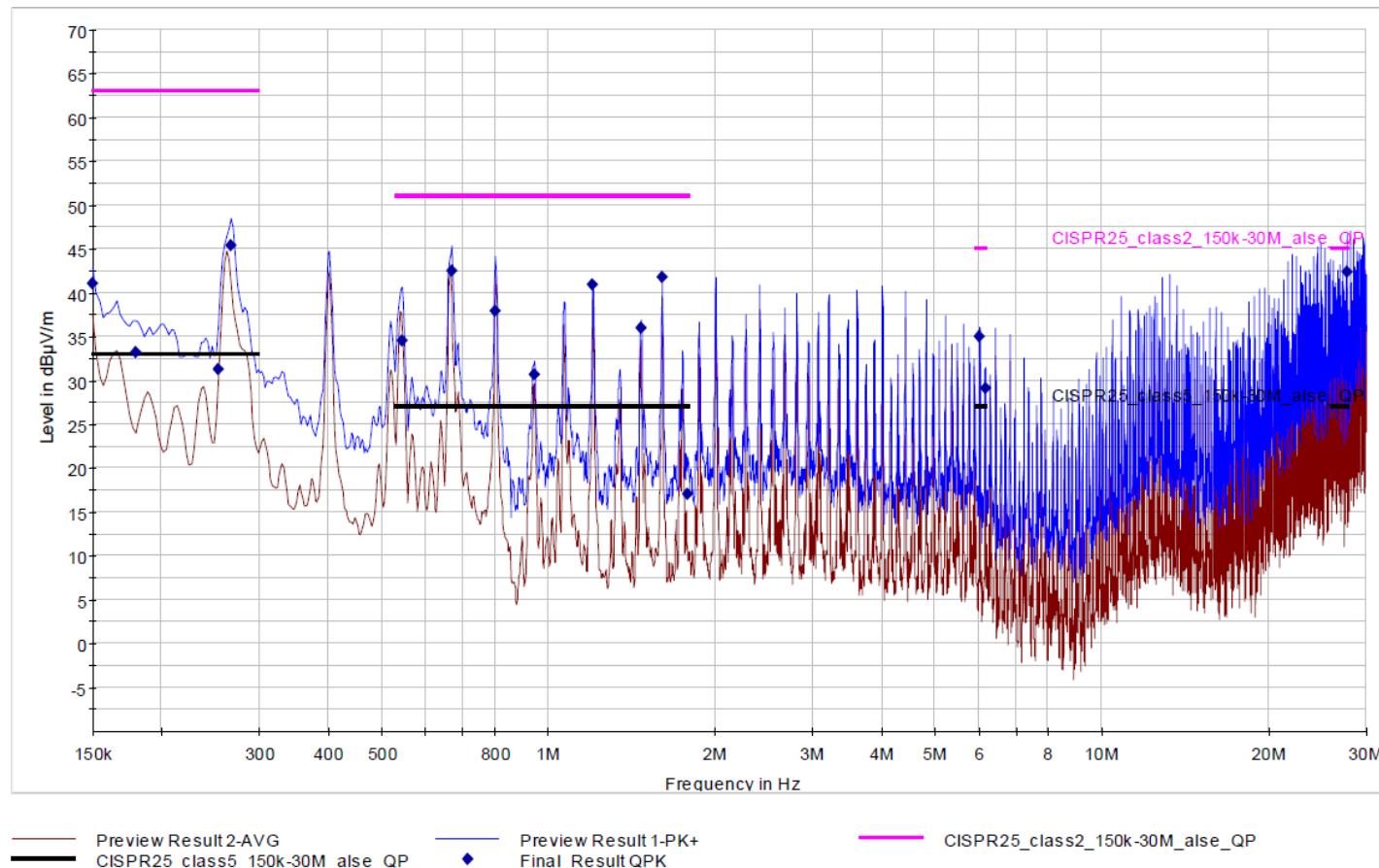
Slika 18: Rezultat na 48V+ priključku s QP detektorjem in razredom 5 mejnimi vrednostmi

# Aljaž Kovačič: Sevalne motnje do 30M PKAV ■



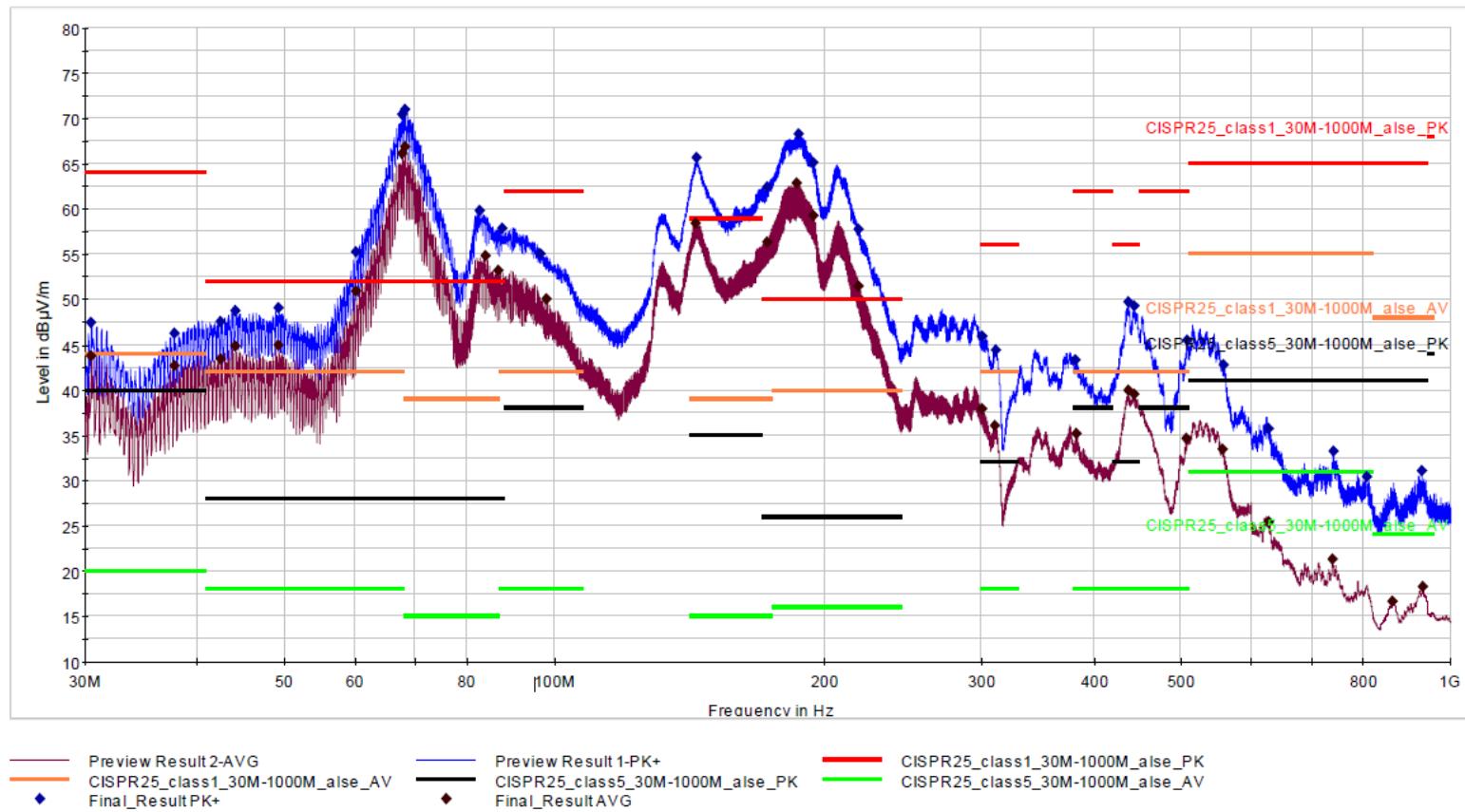
Slika 42: Rezultat s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju  
150 kHz – 30 MHz

# Aljaž Kovačič: Sevalne motnje do 30M QP



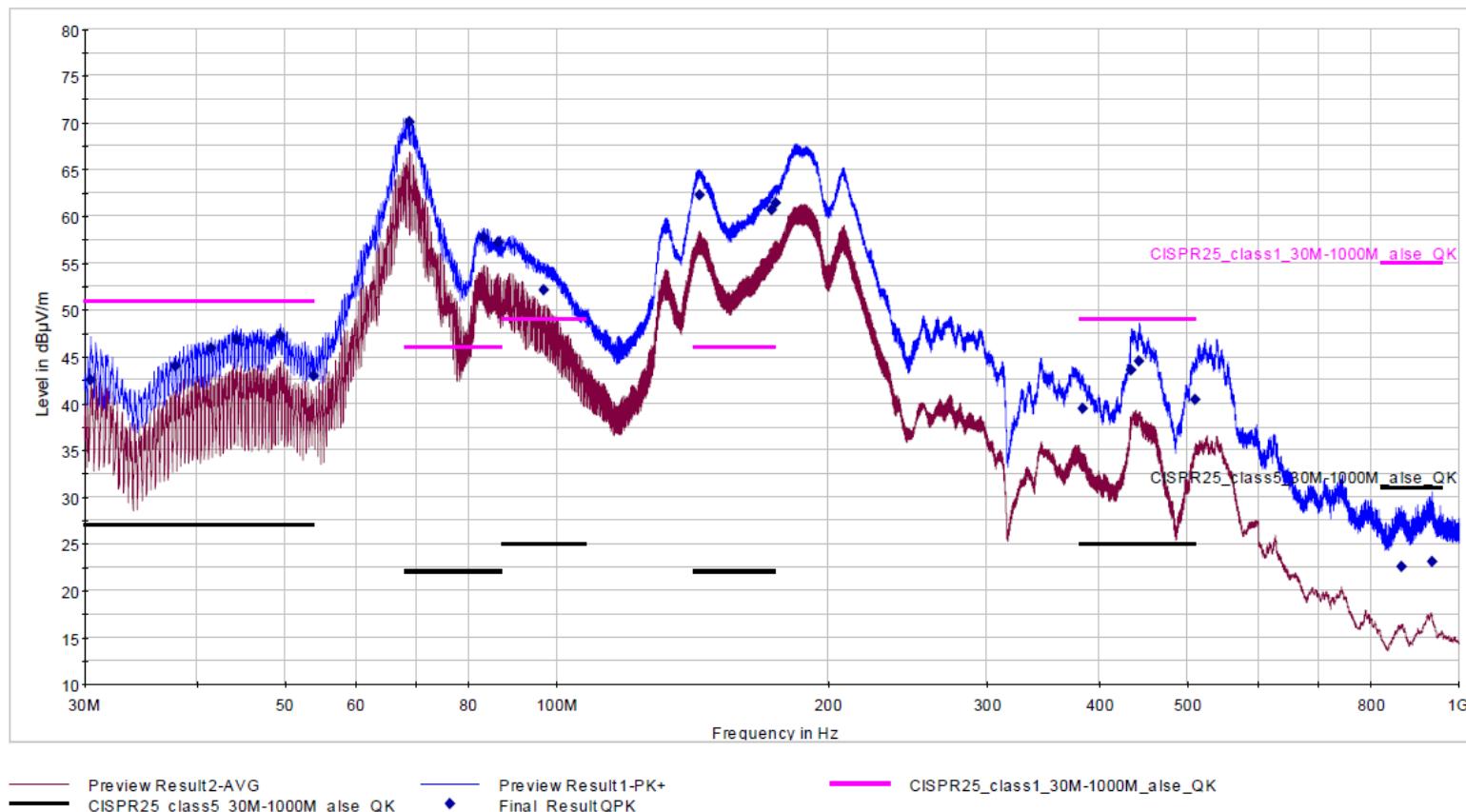
Slika 43: Rezultat s QP detektorjem in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju  
150 kHz – 30 MHz

# Aljaž Kovačič: Sevalne motnje do 1G PKAV



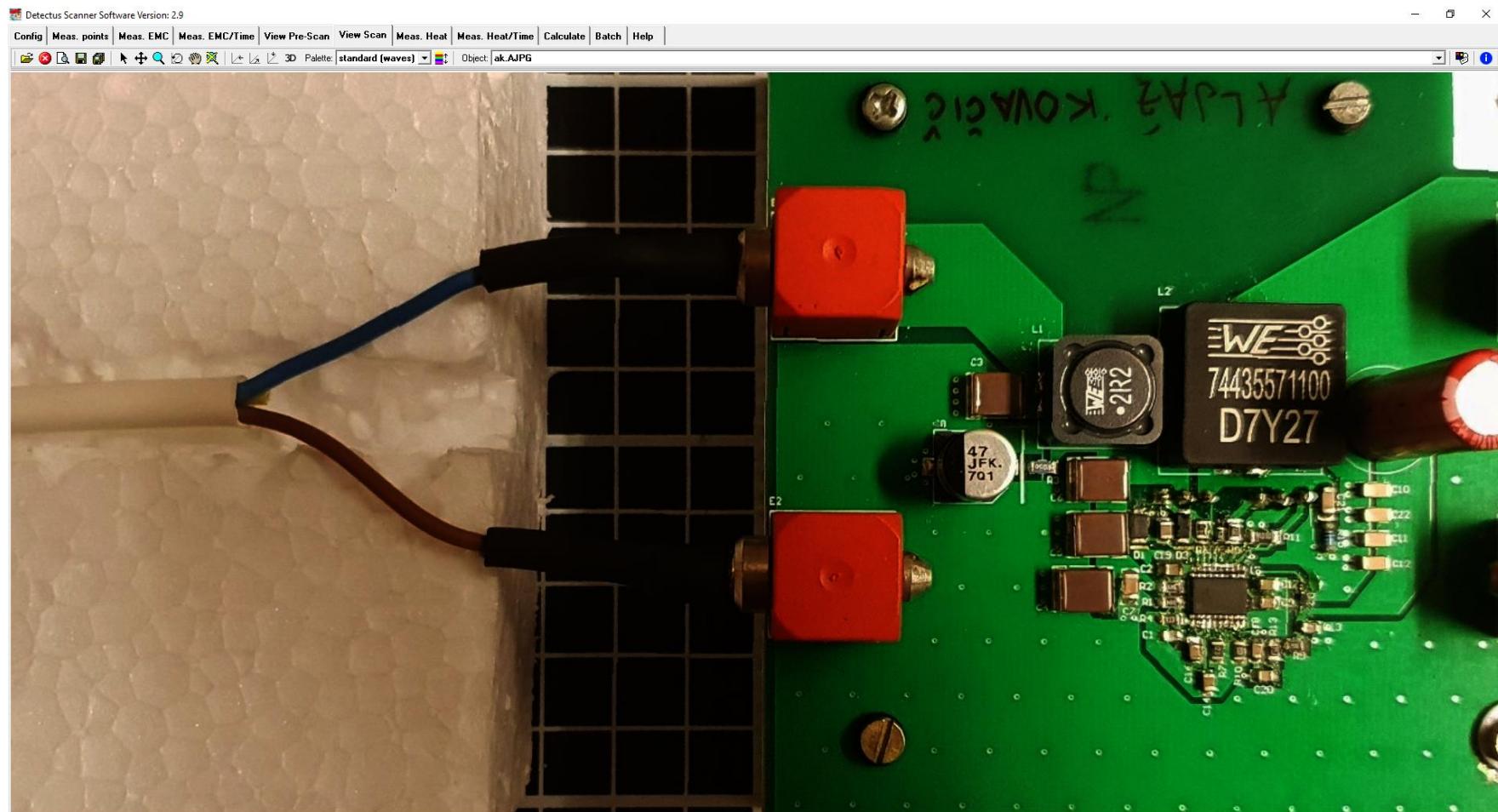
Slika 44: Rezultat s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju  
30 MHz – 1000 MHz

# Aljaž Kovačič: Sevalne motnje do 1G QP

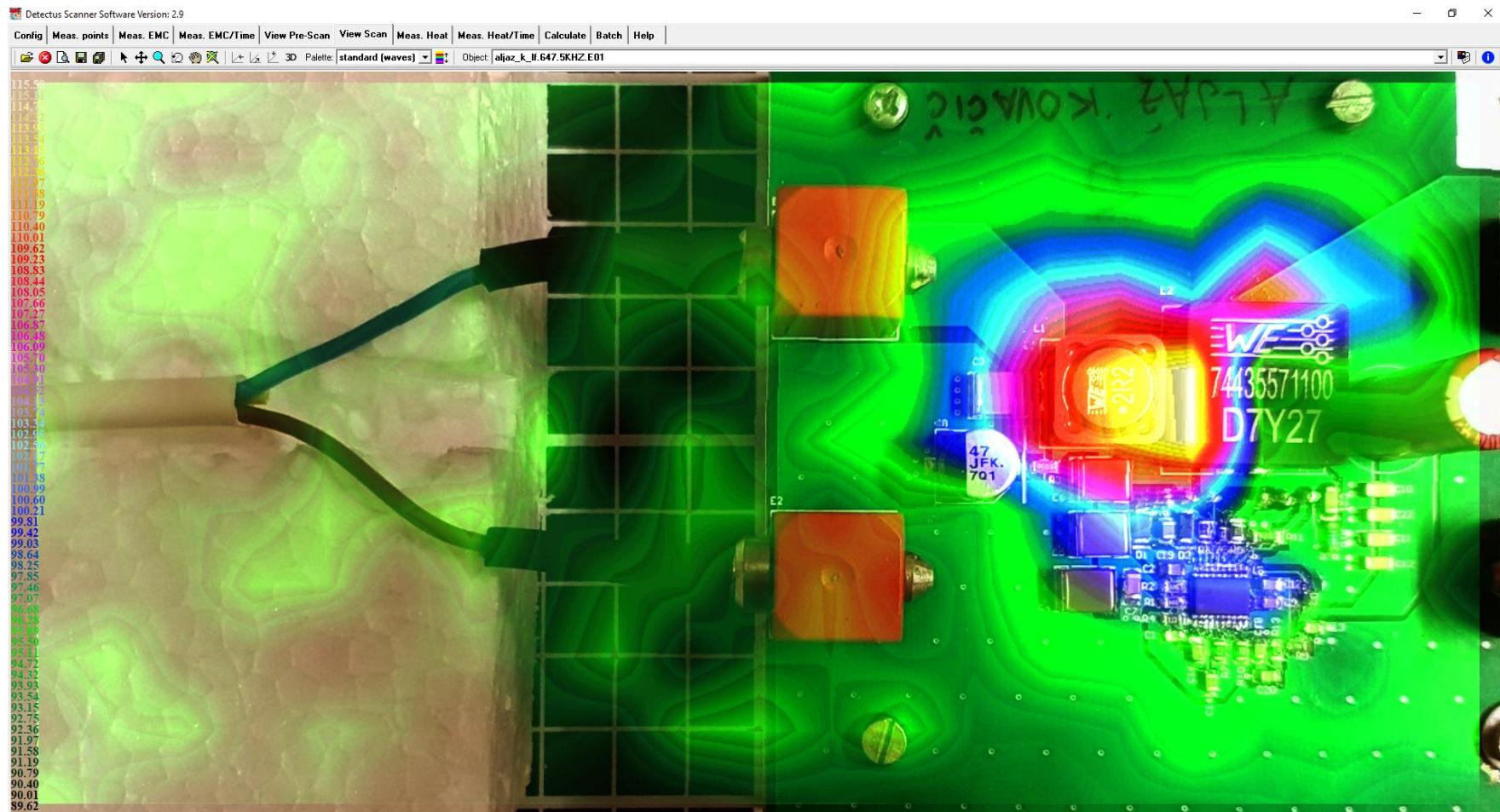


Slika 45: Rezultat s QP detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju 30 MHz – 1000 MHz

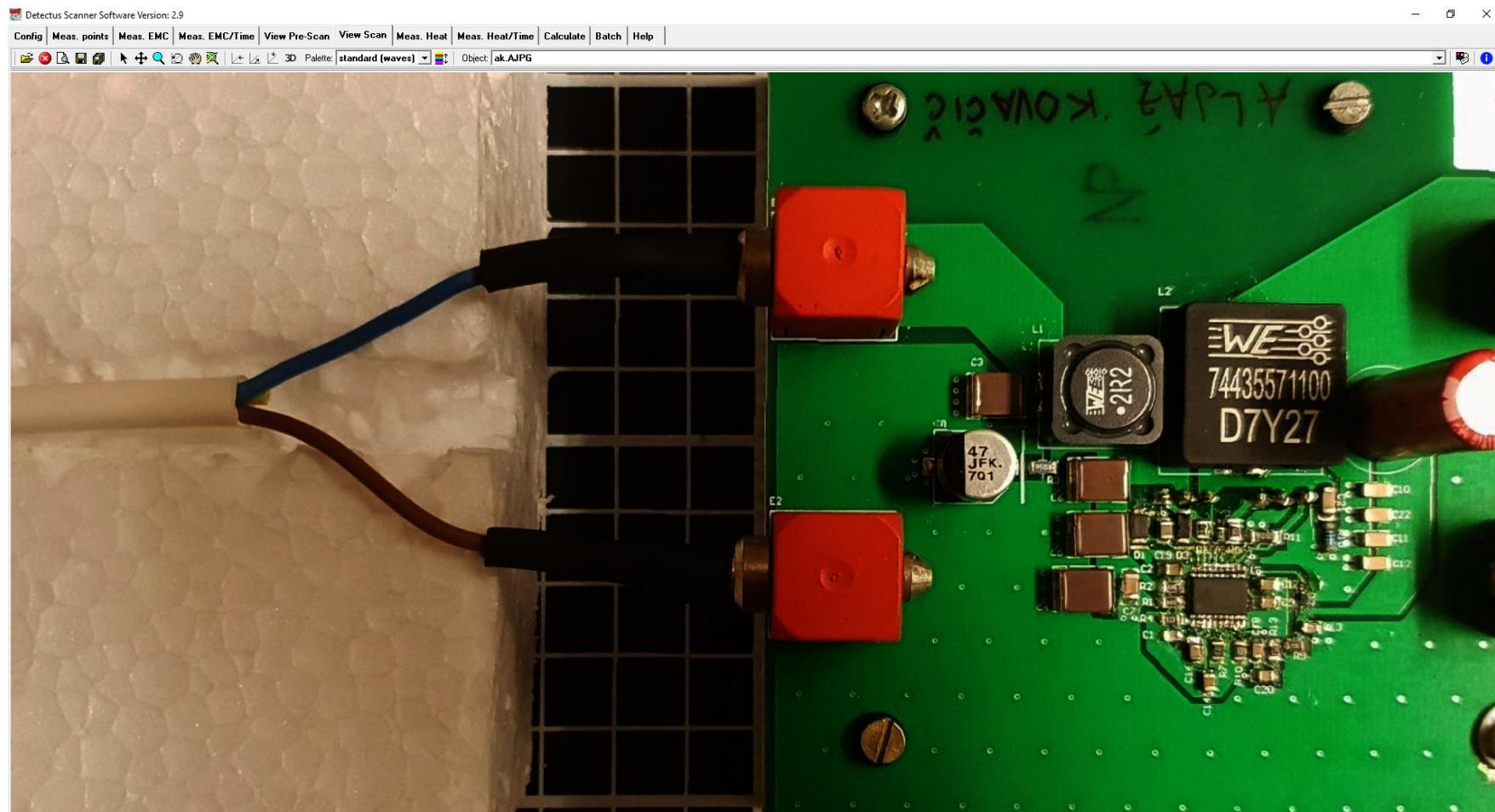
# Aljaž Kovačič: Detectus



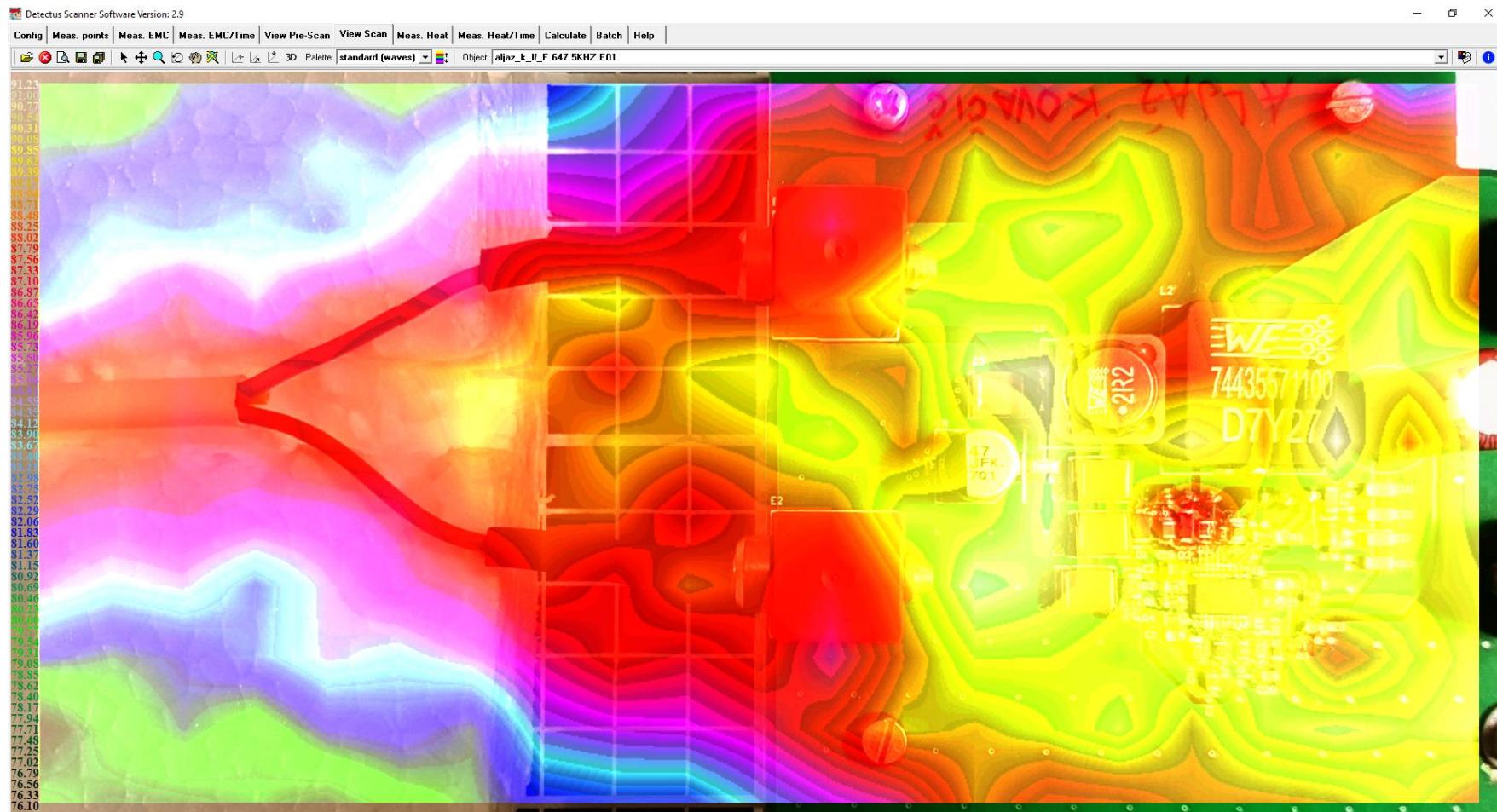
# Aljaž Kovačič: Magnetno polje pri 647 kHz



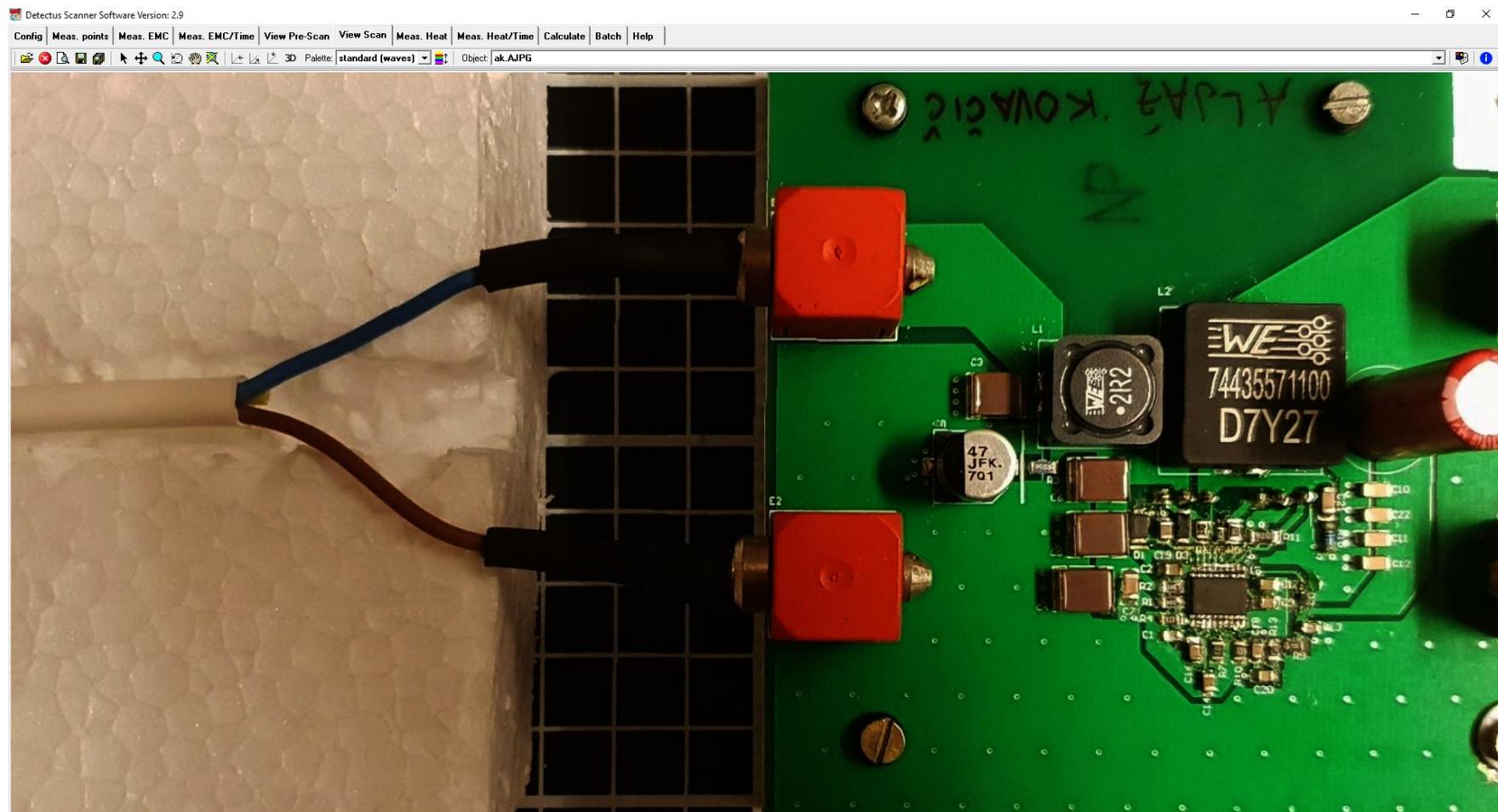
# Aljaž Kovačič: Detectus



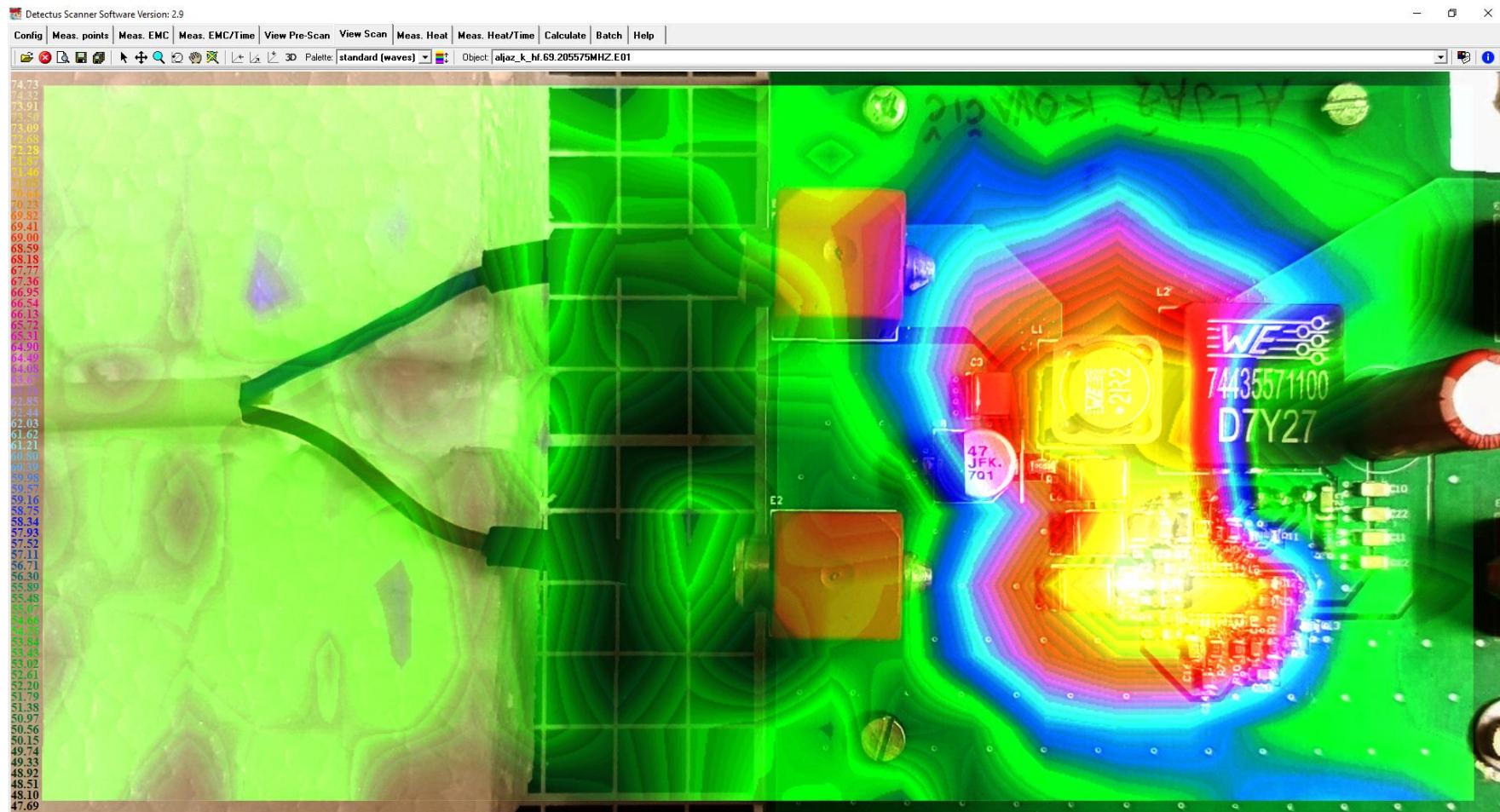
# Aljaž Kovačič: Električno polje pri 647 kHz



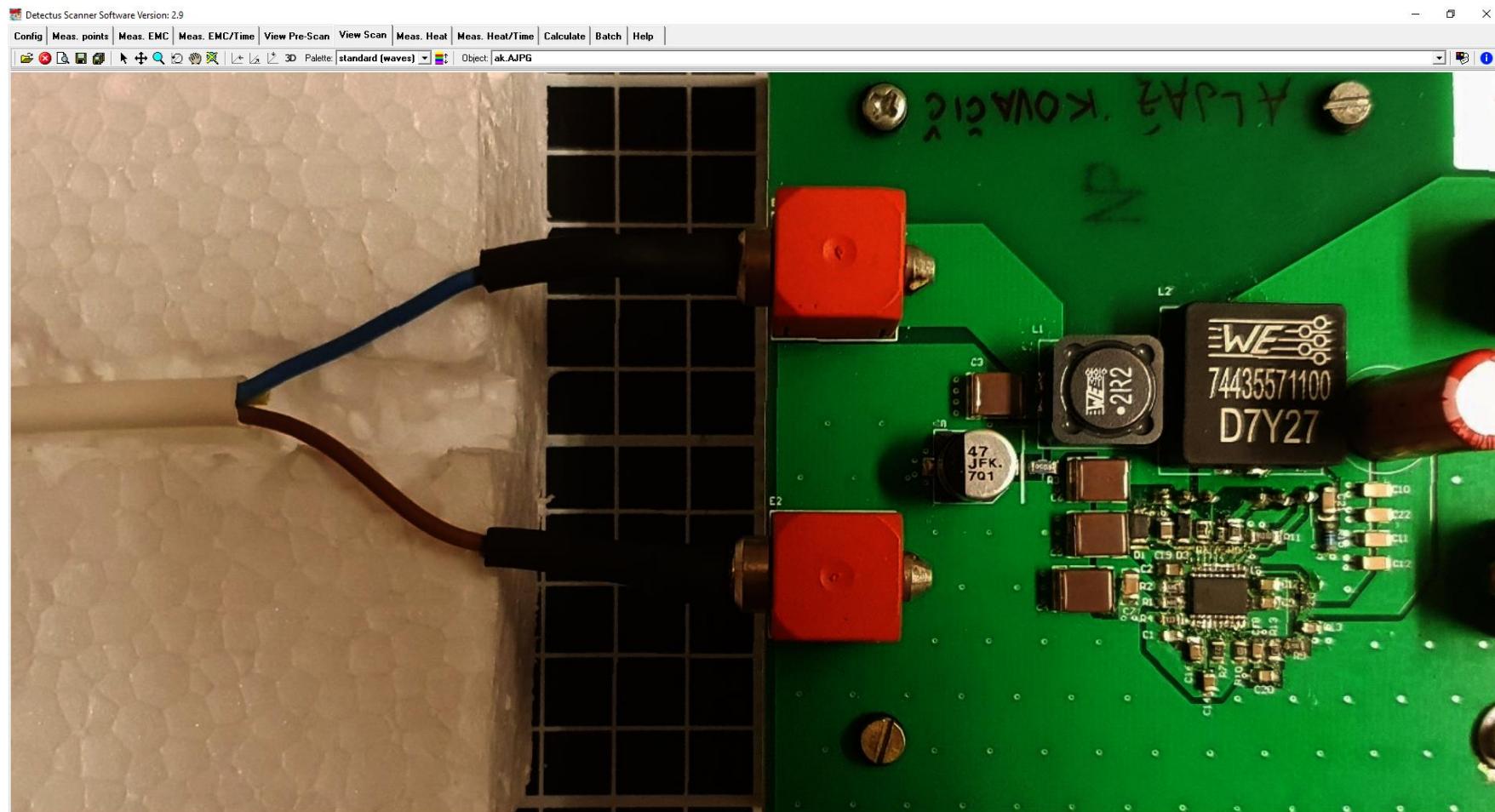
# Aljaž Kovačič: Detectus



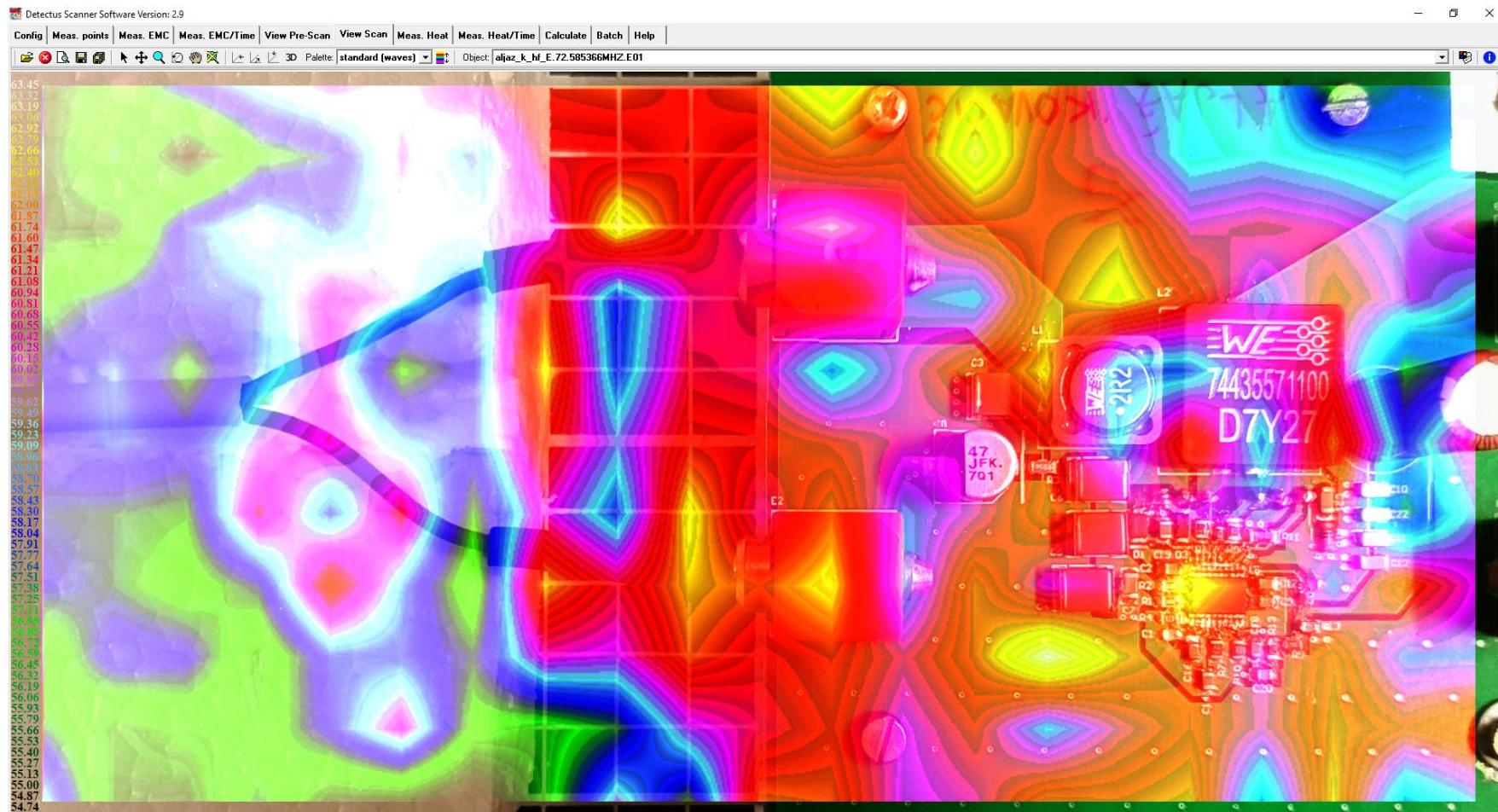
# Aljaž Kovačič: Magnetno polje pri 69 MHz



# Aljaž Kovačič: Detectus



# Aljaž Kovačič: Električno polje pri 69 MHz



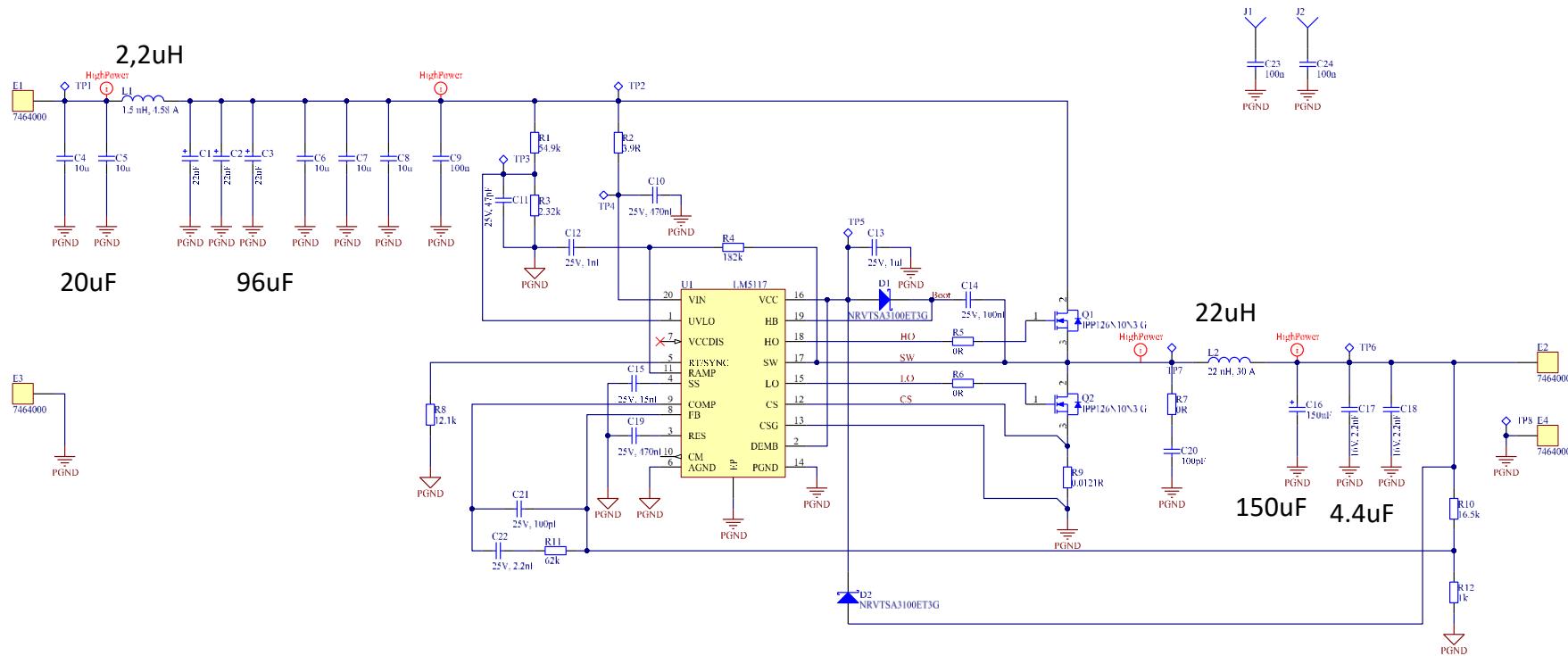
# Aljaž Kovačič: Točkovanje

Preizkus	Zahtevano	Dosegel	Točke
Funkcionalni (območje vh. napetosti, nastavljena izh. napetost, valovitost)	Znotraj zahtev	Odstopanje pri celotni izhodni valovitosti	8
Izkoristek	Nad 75 %	89%	14
Prevodne emisije	Nižje od razreda 1	Višje od razreda 1	-30,44
Sevalne emisije	Nižje od razreda 1	Višje od razreda 1	-27,83
Skupaj točk			-36,27

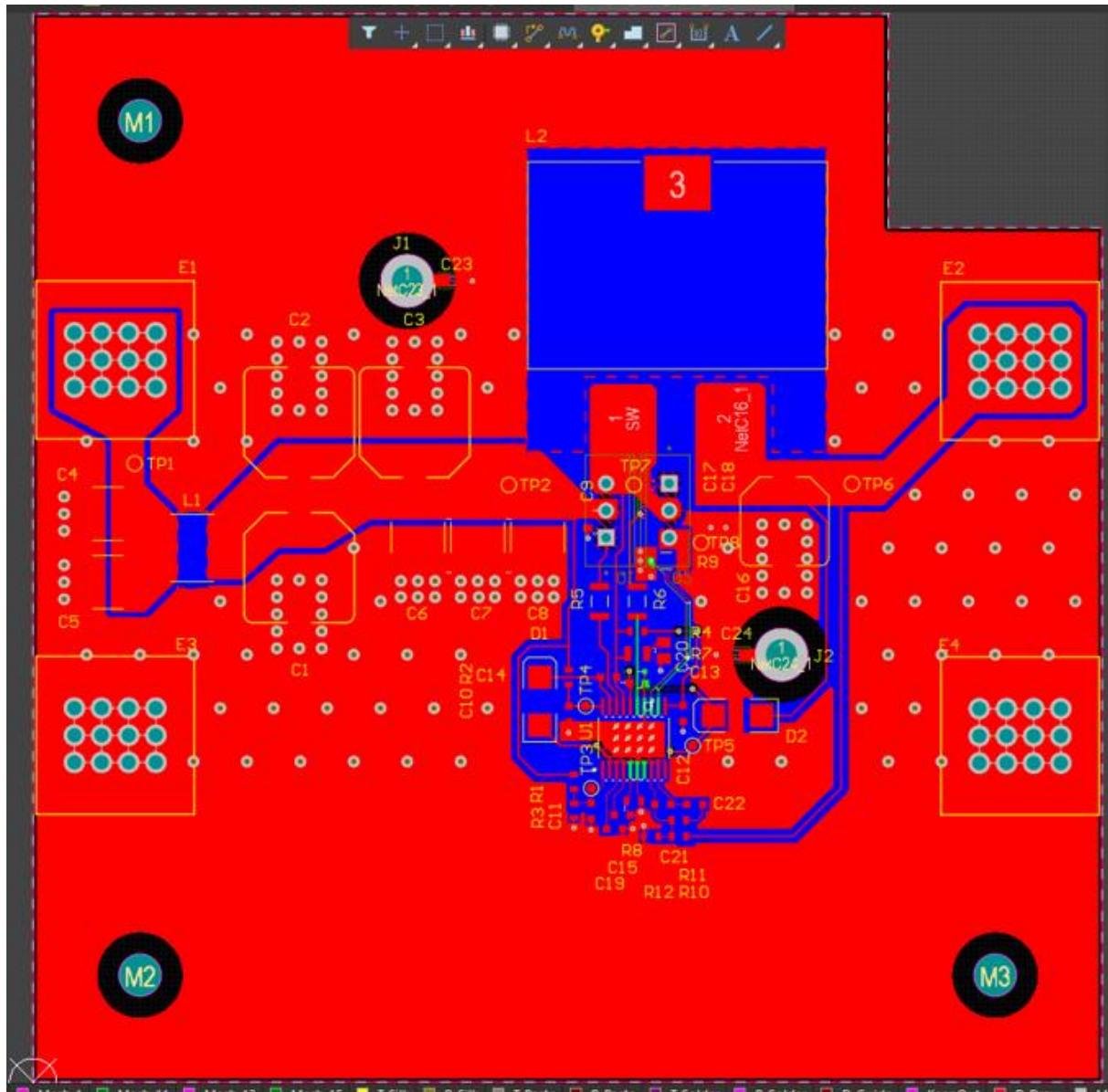
Prevodne emisije: preko razreda 1 limit pri 72,57 MHz za 30,44 dBuV

Sevalne emisije: preko razreda 1 limit pri 68,19 MHz za 27,83 dBuV/m

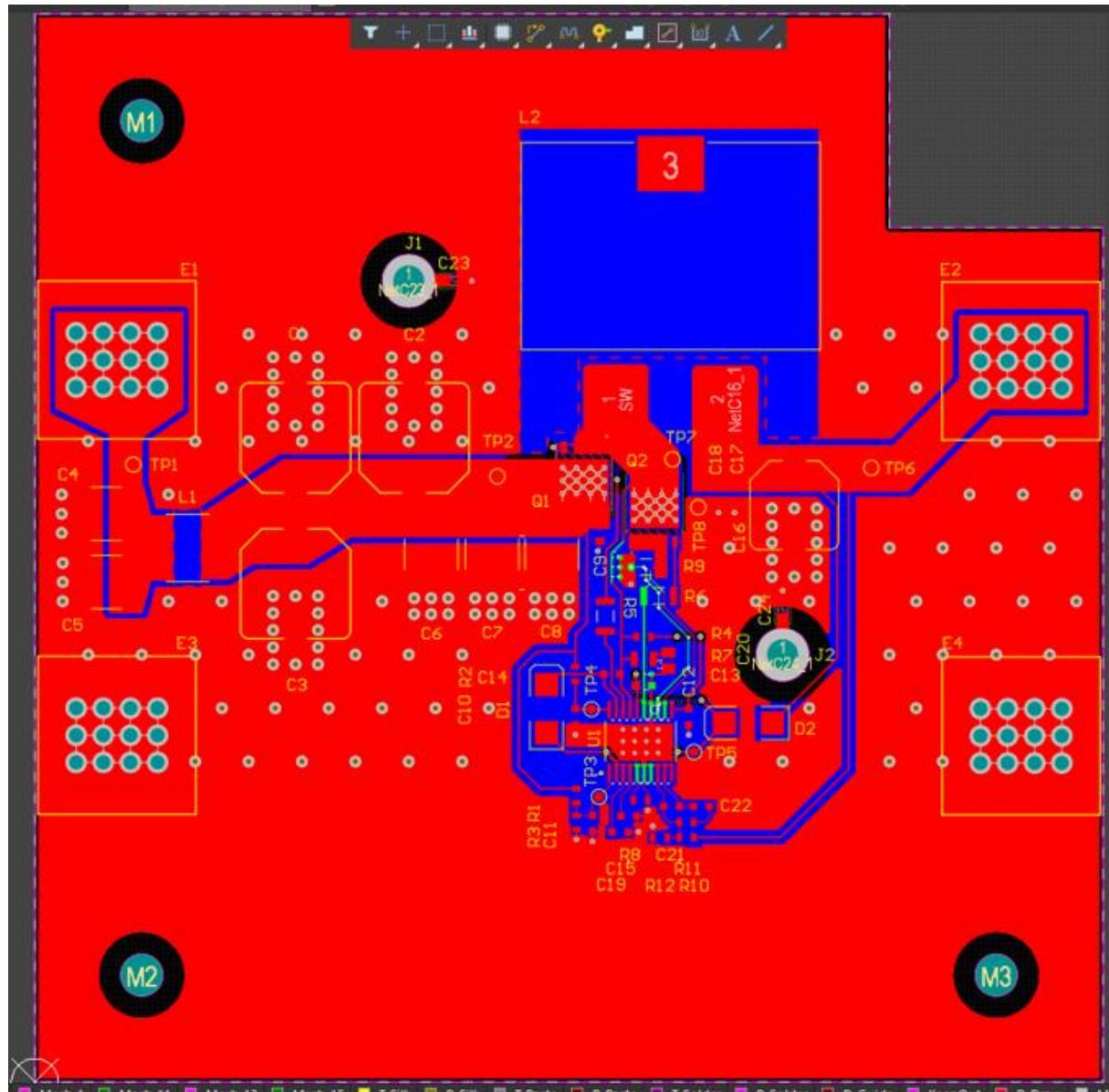
# Gašper Skvarč Božič in Marko Pavlovič



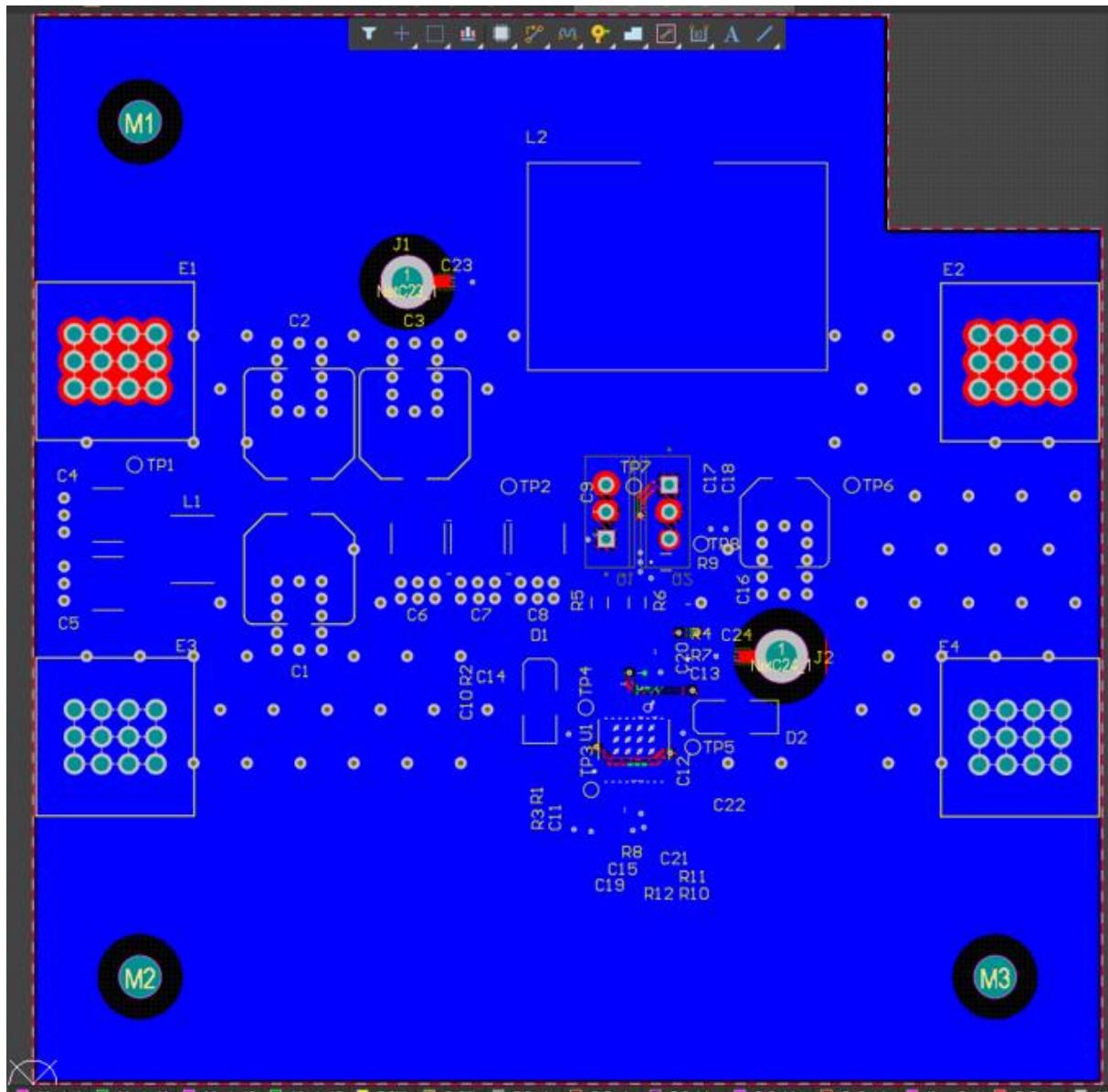
# Gašper Skvarč Božič



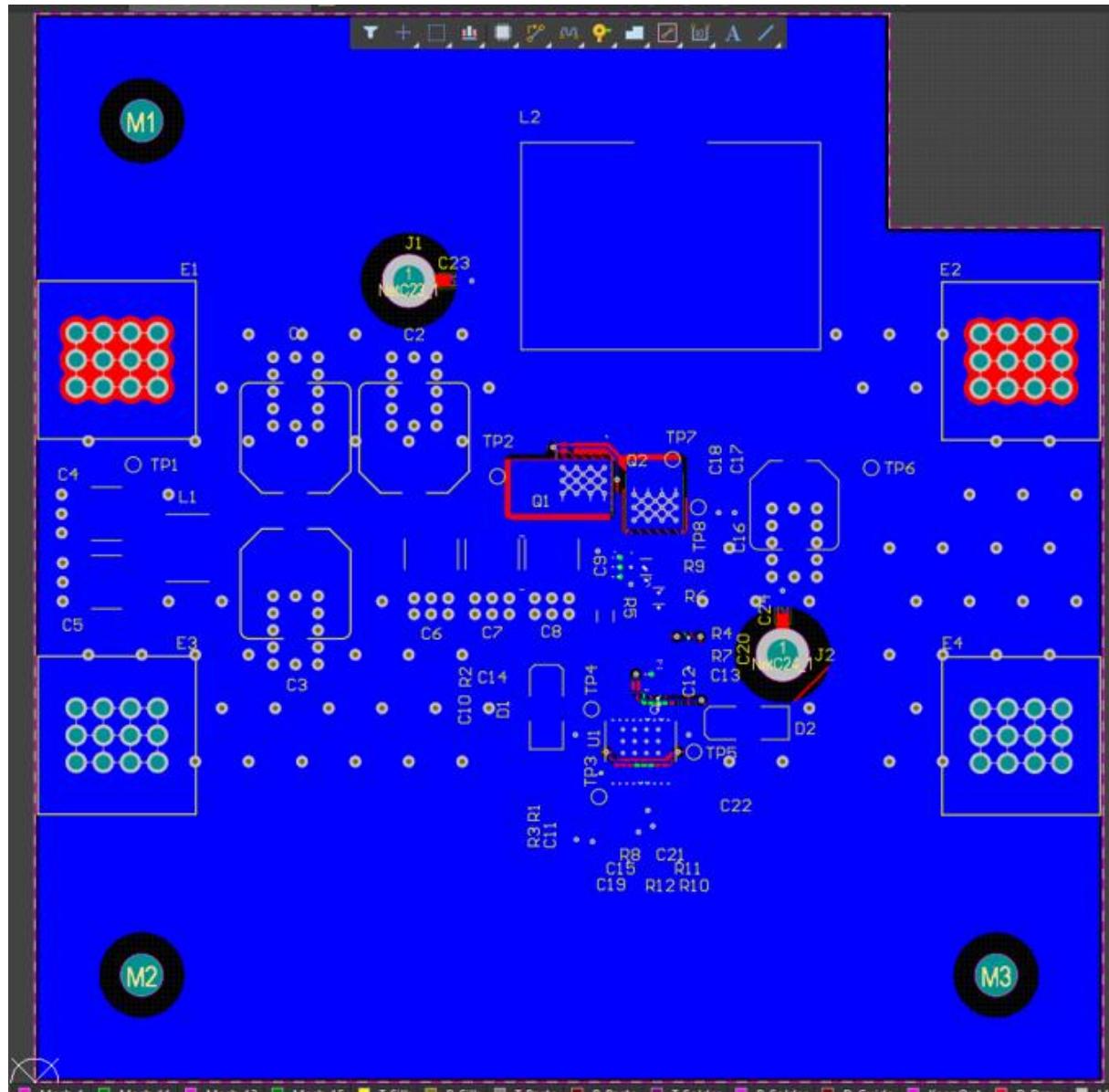
# Marko Pavlovič



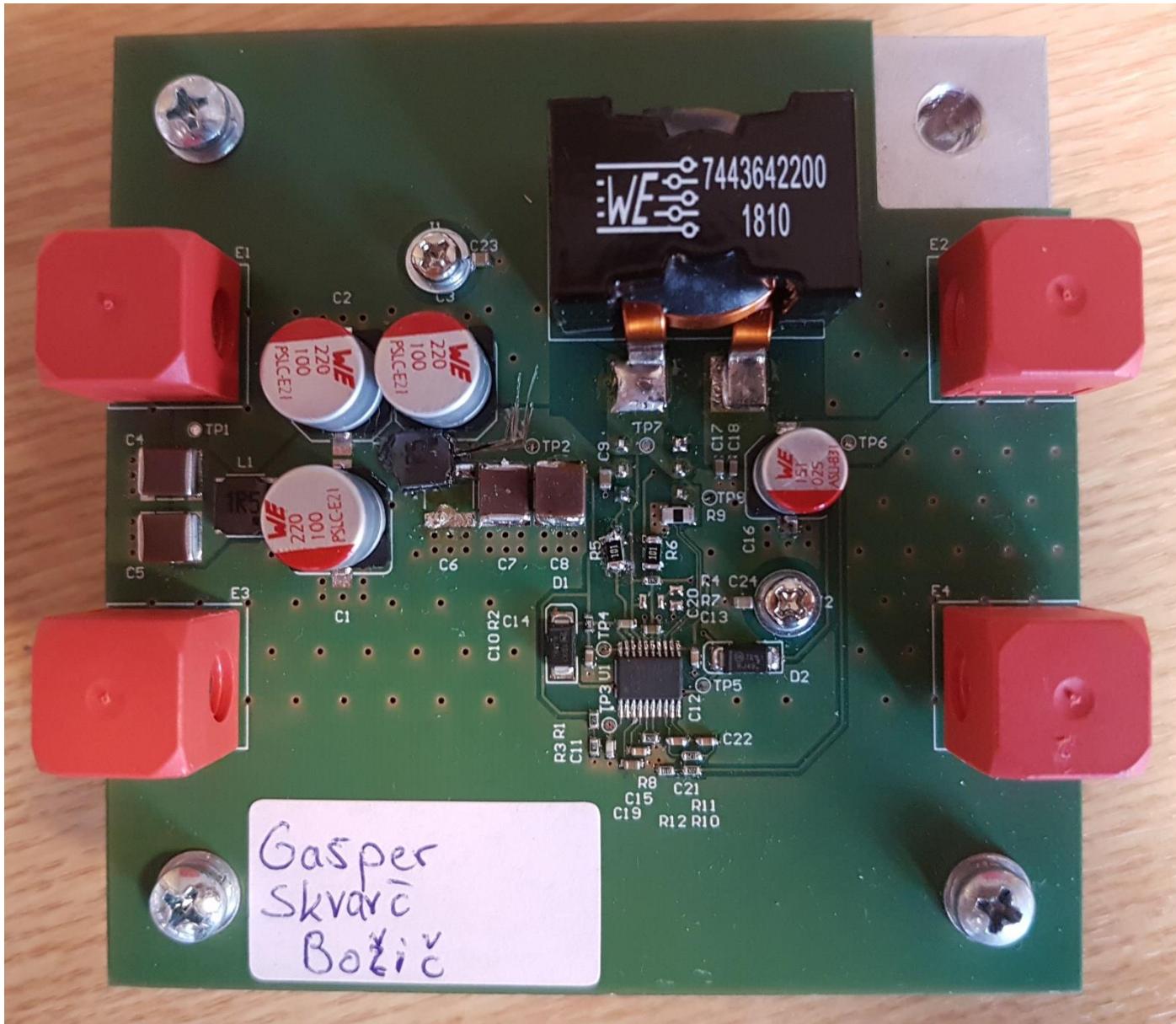
# Gašper Skvarč Božič



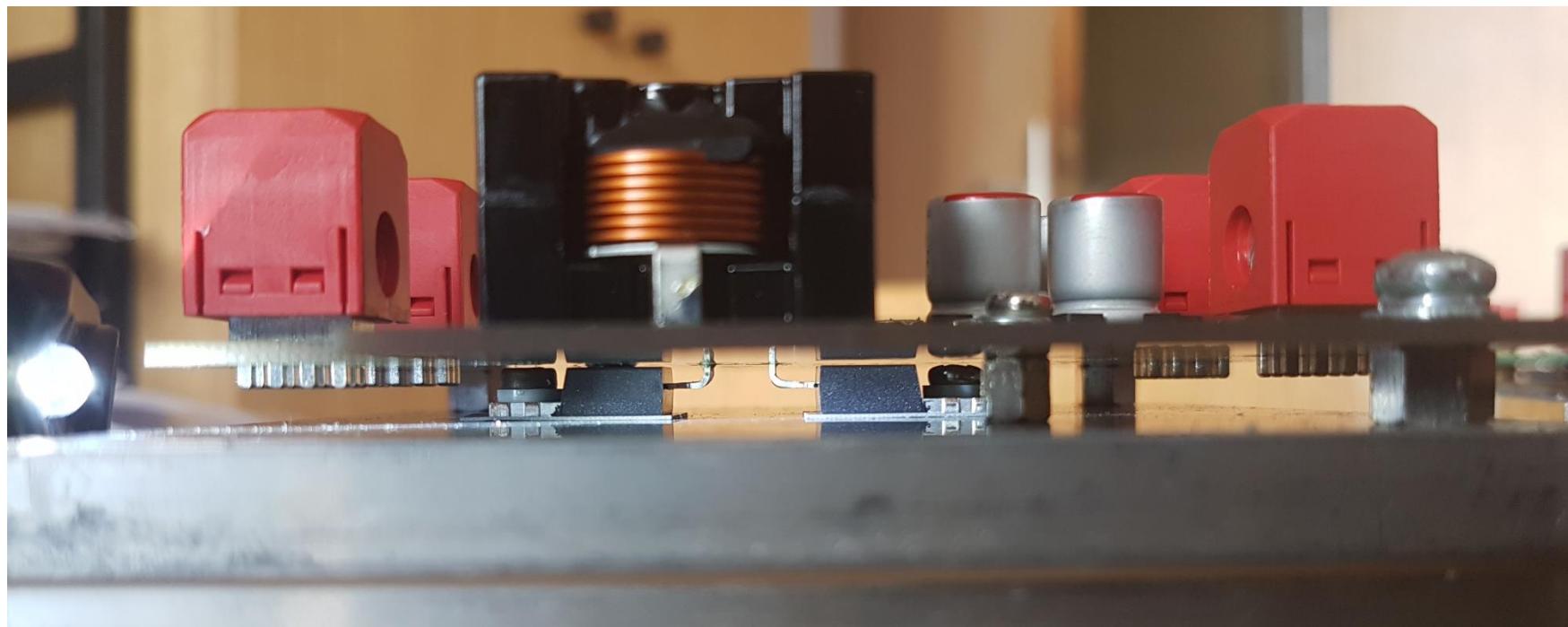
# Marko Pavlovič



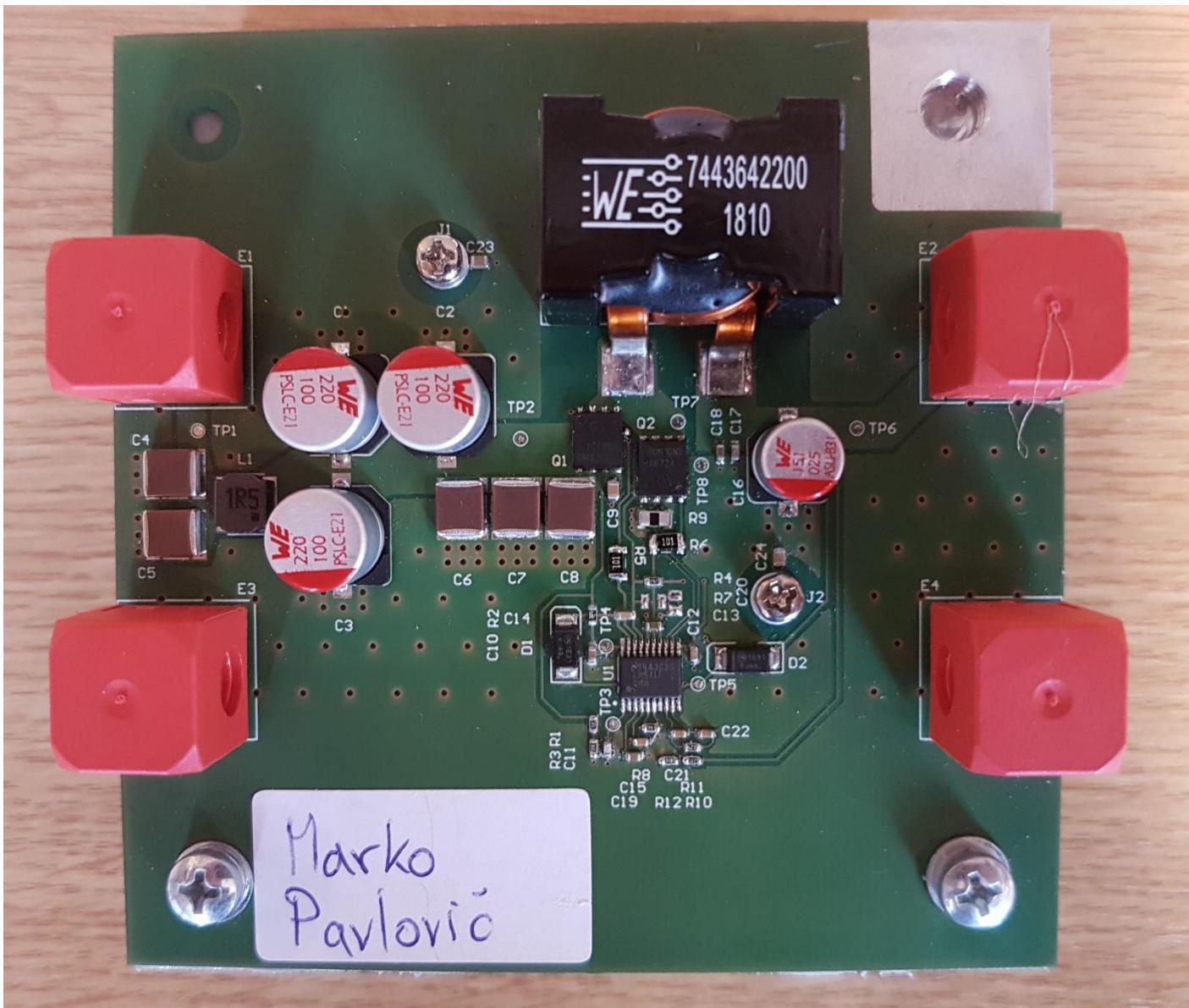
# Gašper Skvarč Božič



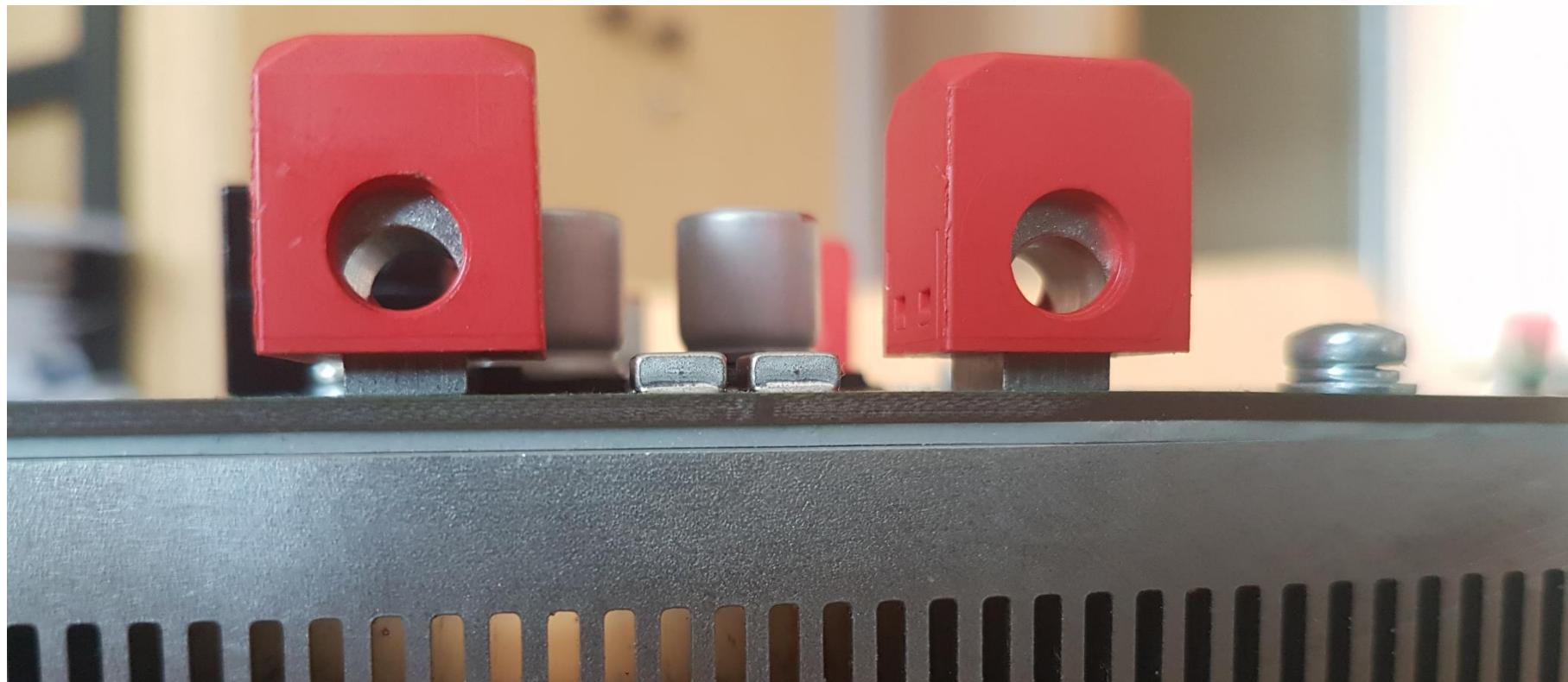
# Gašper Skvarč Božič



# Marko Pavlović



# Marko Pavlovič

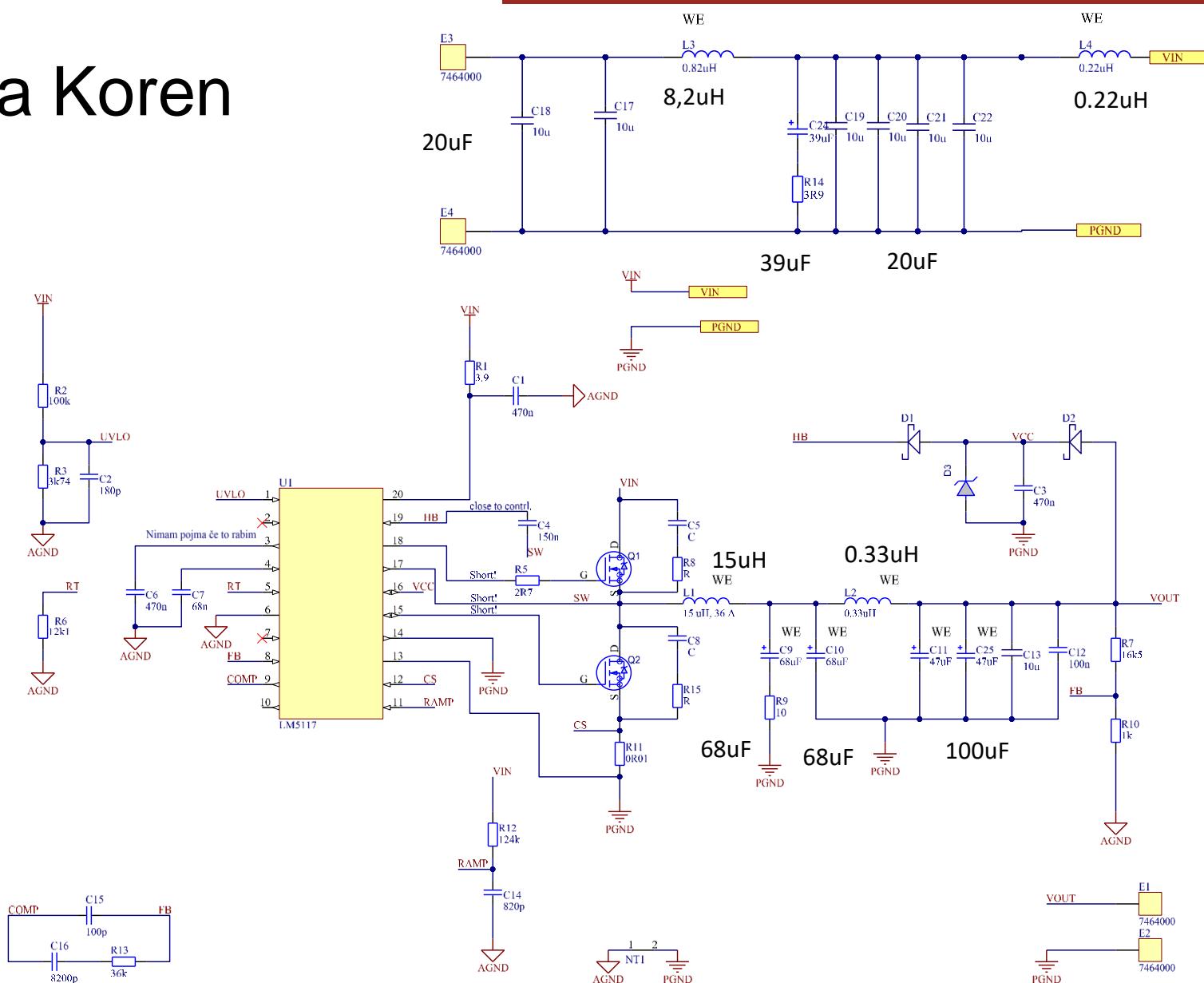


# Marko Pavlovič in Gašper Skvarč Božič

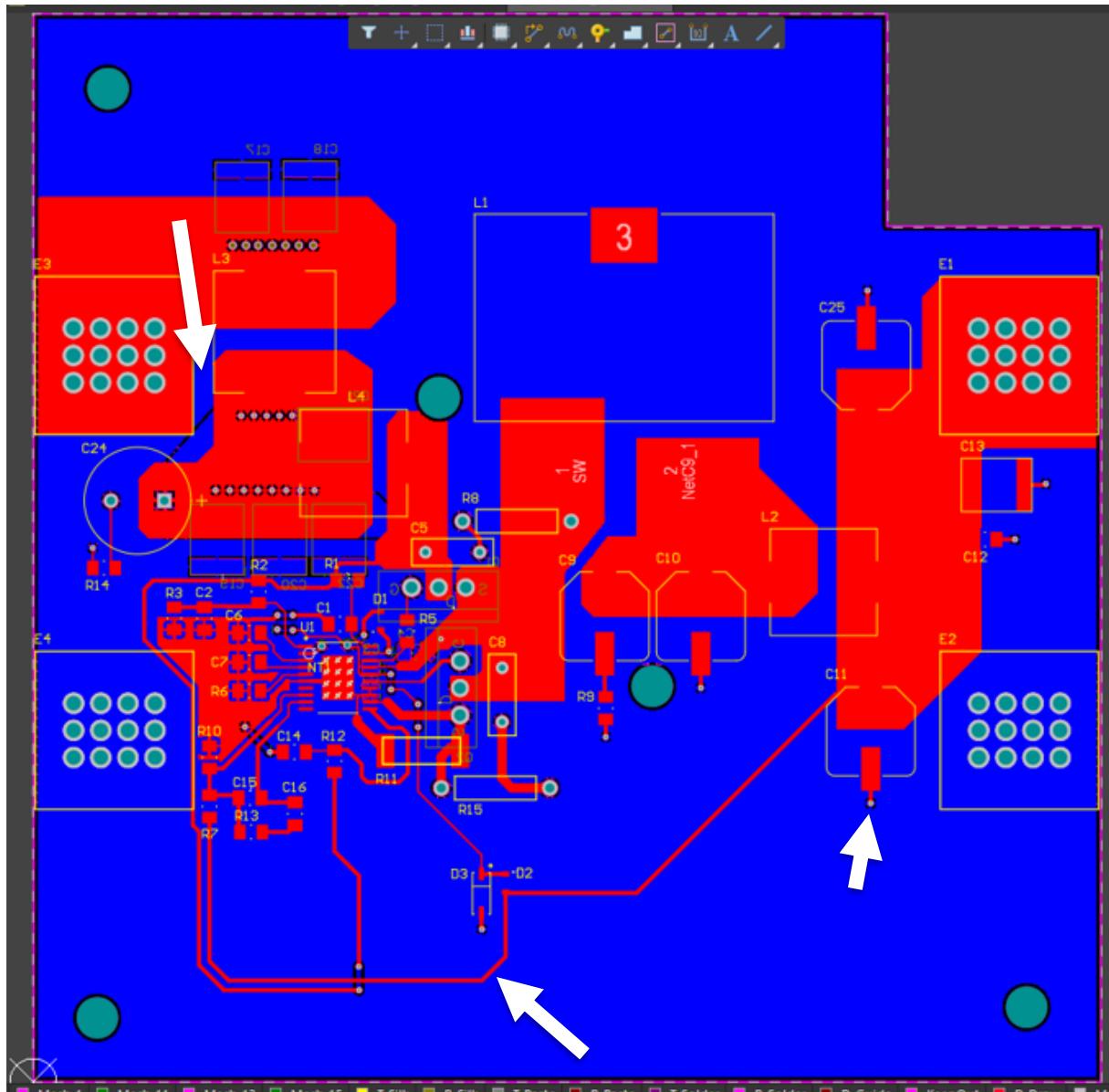
Preizkus	Zahtevano	Dosegel	Točke
Funkcionalni  (območje vh. napetosti, nastavljena izh. napetost, valovitost)	Znotraj zahtev	NEDELUJOČ	0
Izkoristek	Nad 75 %	/	0
Prevodne emisije	Nižje od razreda 1	/	0
Sevalne emisije	Nižje od razreda 1	/	0
<b>Skupaj točk</b>			<b>Diskvalificiran</b>

Cena ključnih komponent: **18 €**

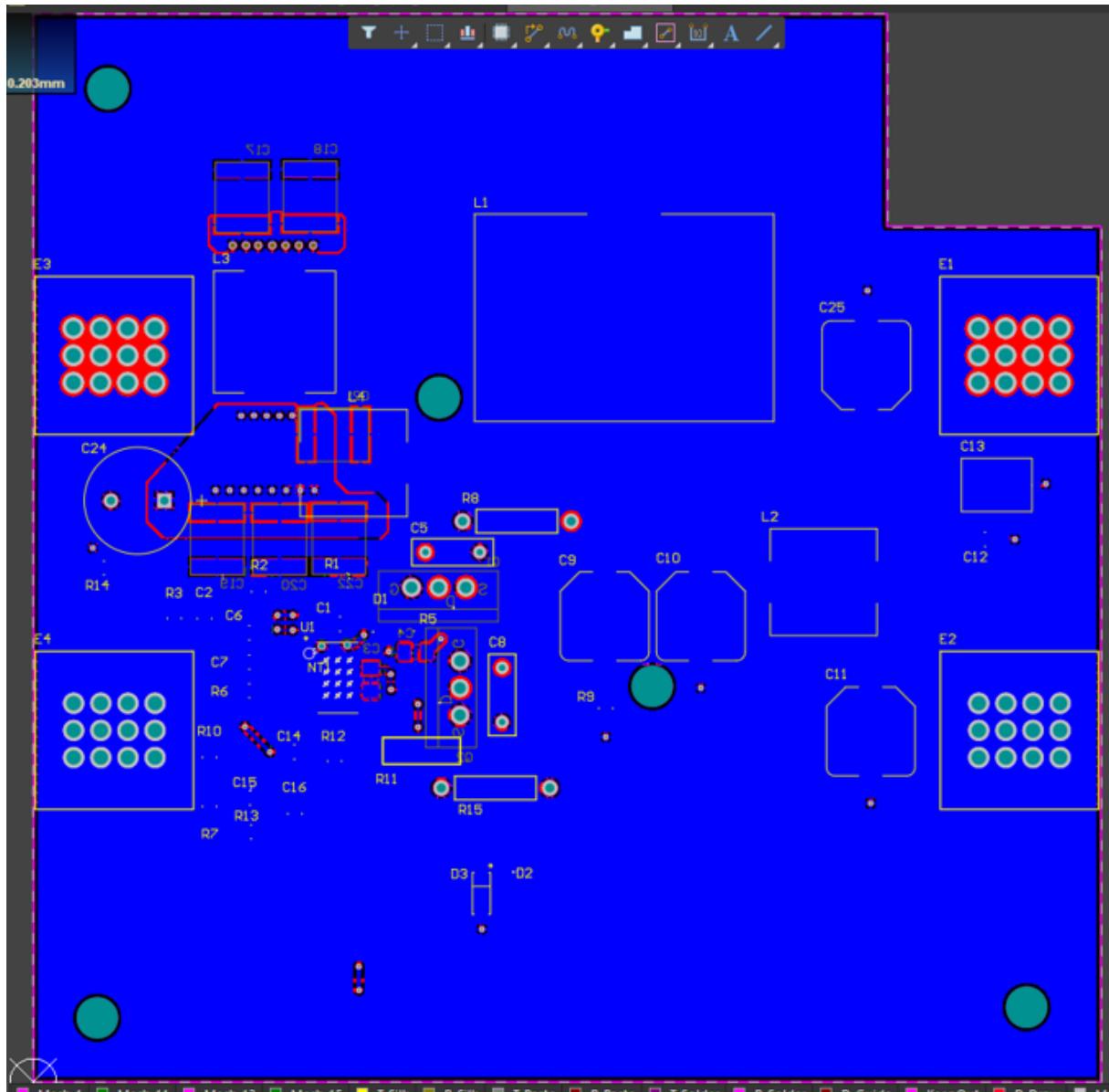
# Jaka Koren



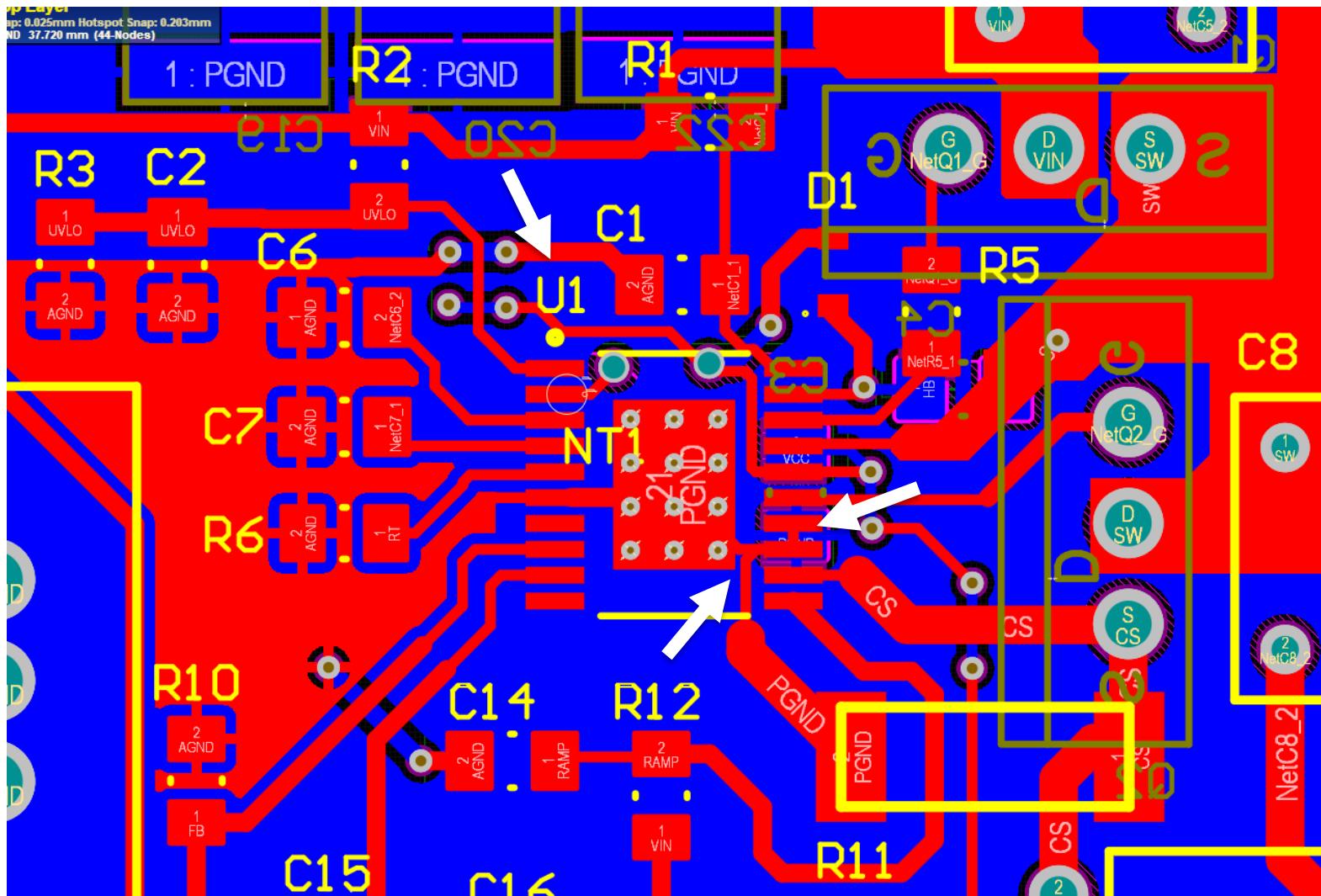
# Jaka Koren



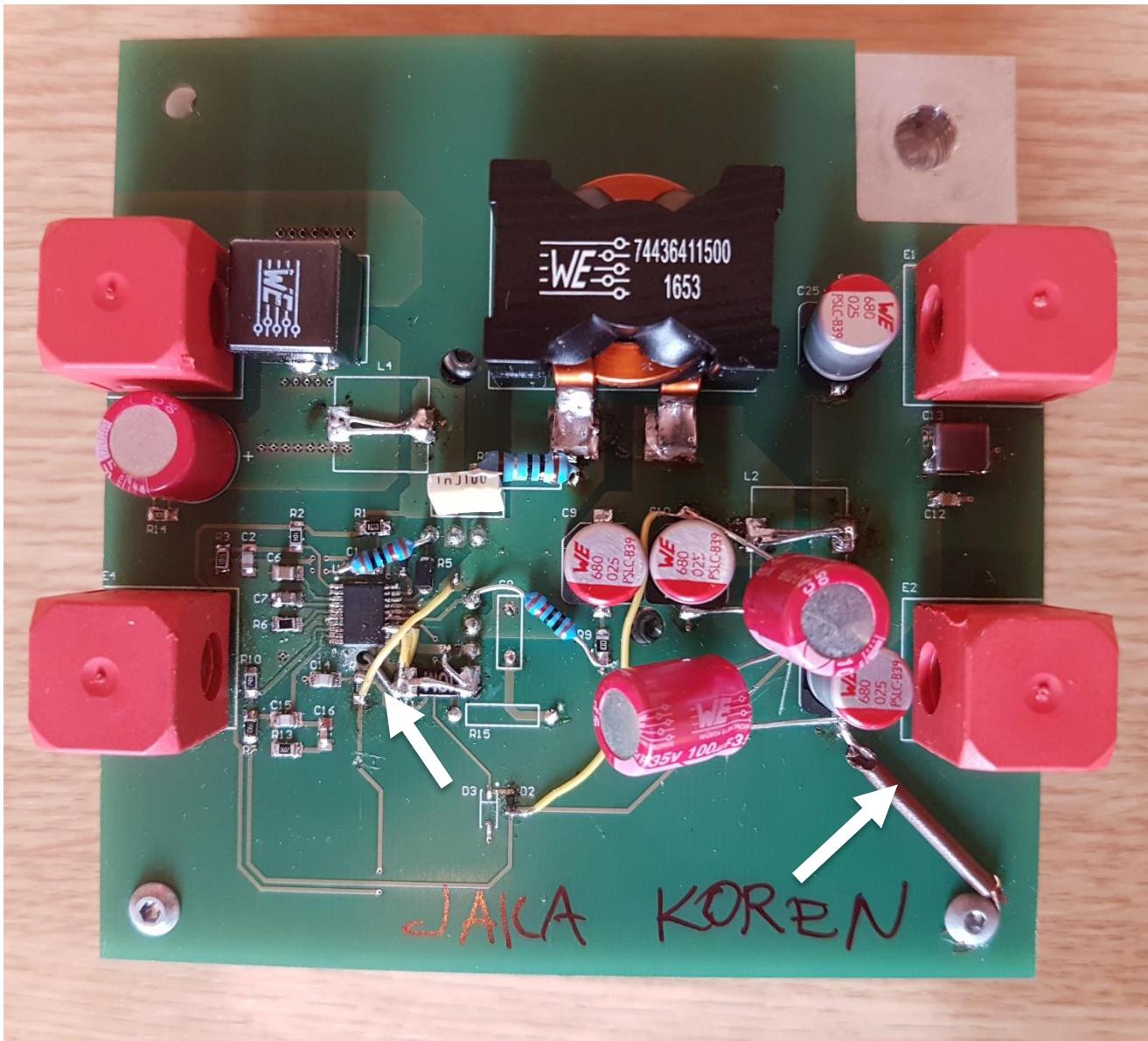
# Jaka Koren



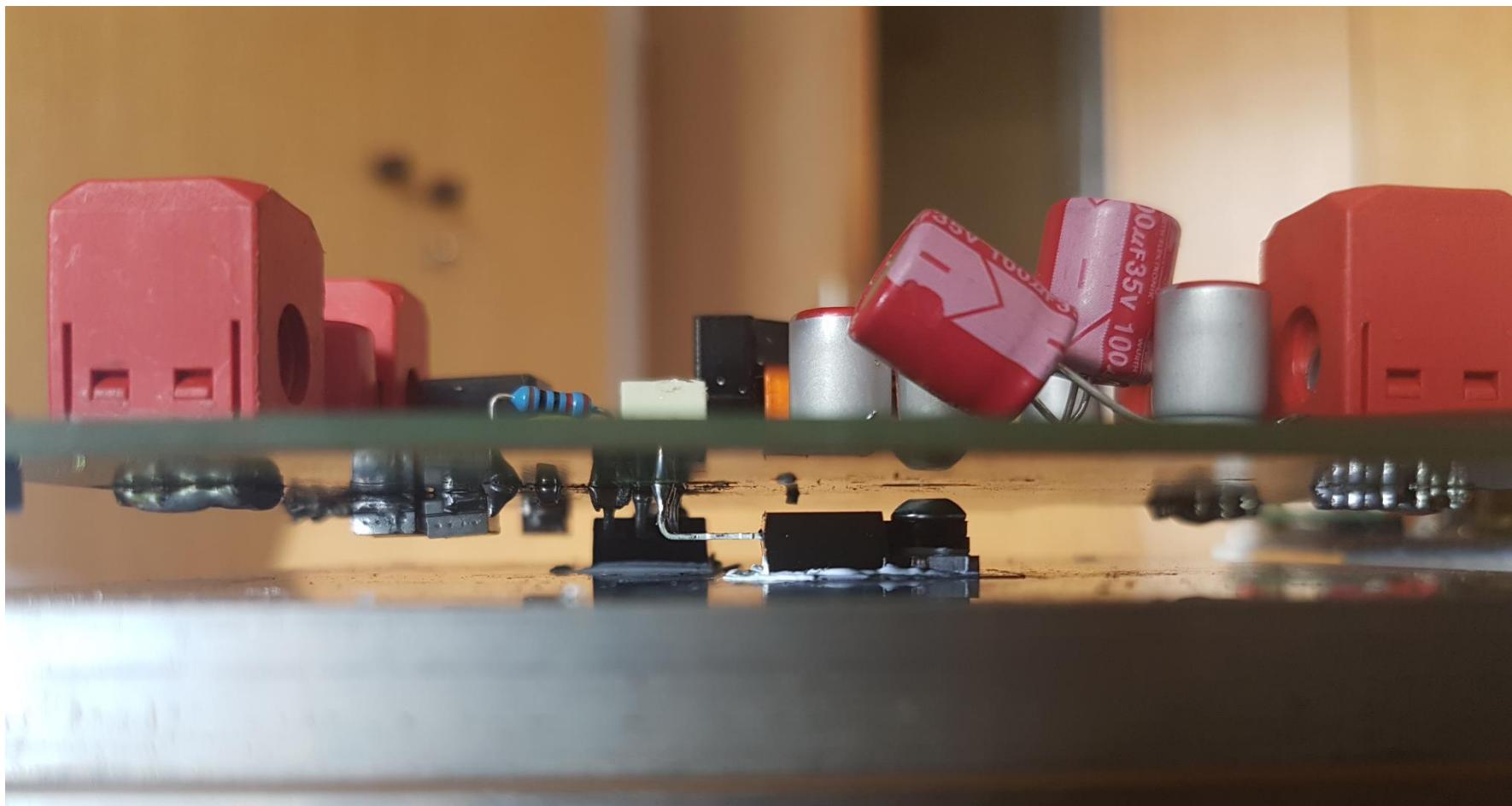
# Jaka Koren



# Jaka Koren



# Jaka Koren



# Jaka Koren: Električne meritve

Študent	I	$R_b = 10 \Omega$			$R_b = 2 \Omega$		
		$I$	$U_{vh} = 36 \text{ V}$	$U_{vh} = 48 \text{ V}$	$U_{vh} = 60 \text{ V}$	$U_{vh} = 36 \text{ V}$	$U_{vh} = 48 \text{ V}$
Jaka Koren	$I_{vh} [\text{A}]$	ni meritev	ni meritev	ni meritev	2,873	2,214	nedeljujoč
	$I_{izh} [\text{A}]$	ni meritev	ni meritev	ni meritev	6,615	6,615	nedeljujoč
	$U_{izh} [\text{V}]$	ni meritev	ni meritev	ni meritev	13,78	13,78	nedeljujoč

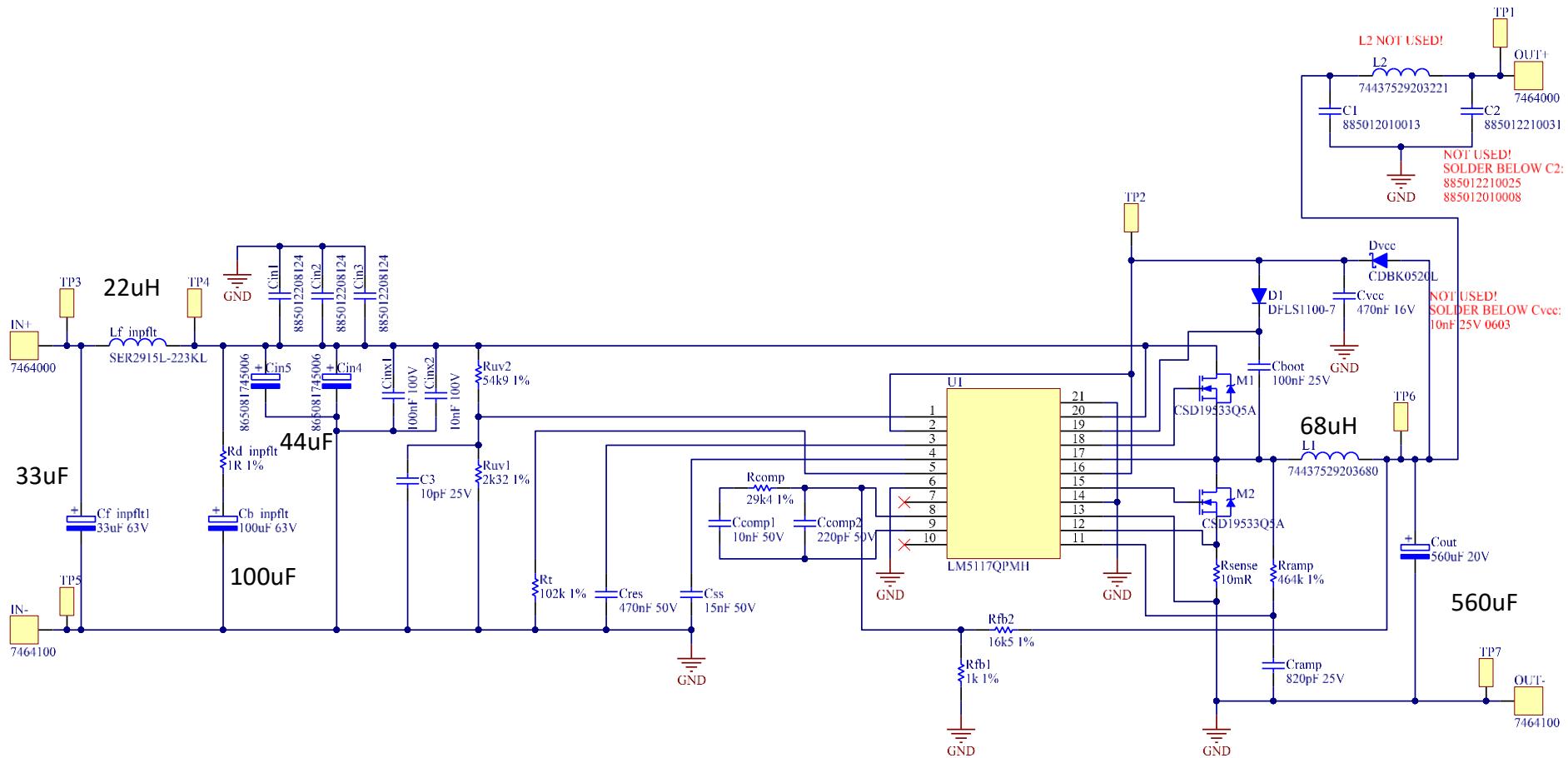
Izkoristek: **86%** (zahteva nad 75%)

Cena ključnih komponent: **19 €**

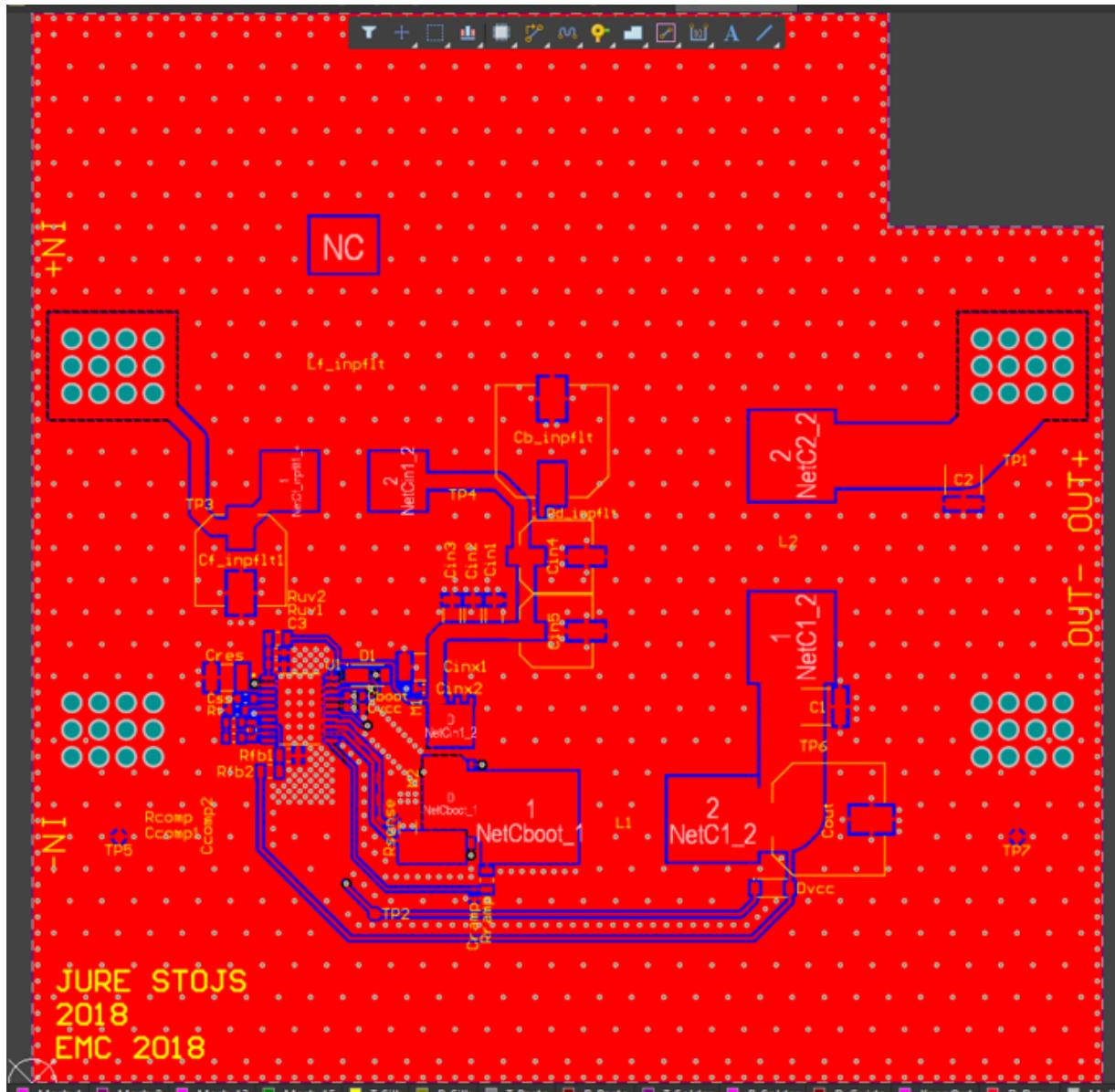
# Jaka Koren: točkovanje

Preizkus	Zahtevano	Dosegel	Točke
<b>Funkcionalni (območje vh. napetosti, nastavljeni izh. napetost, valovitost)</b>	Znotraj zahtev	NEDELUJOČ pri UVH=60 V  (Izdelek uničen pri dvigu vhodne napetosti na 60 V)	0
Izkoristek	Nad 75 %	/	0
Prevodne emisije	Nižje od razreda 1	/	0
Sevalne emisije	Nižje od razreda 1	/	0
<b>Skupaj točk</b>			<b>Diskvalificiran</b>

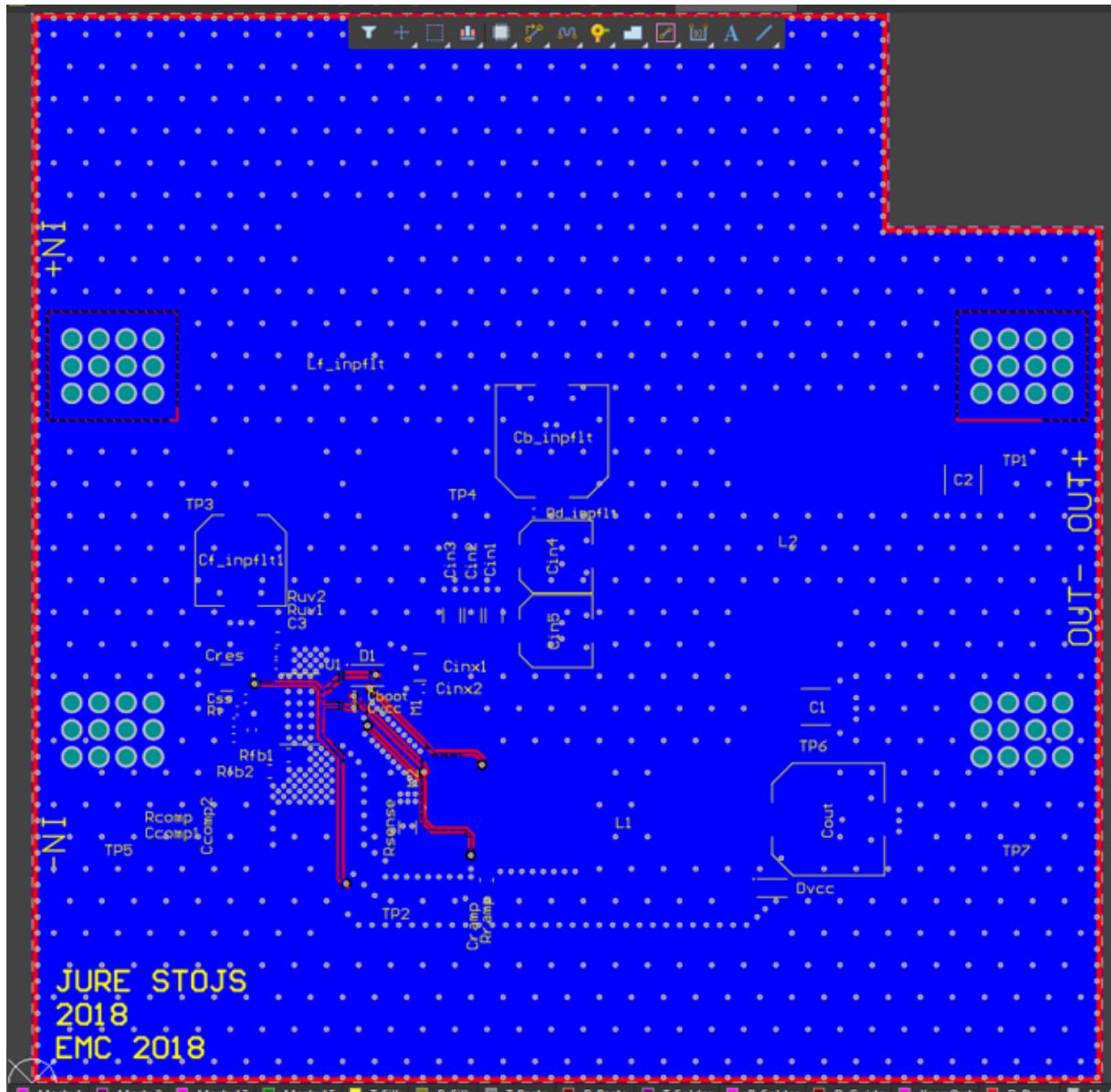
# Jure Štojs



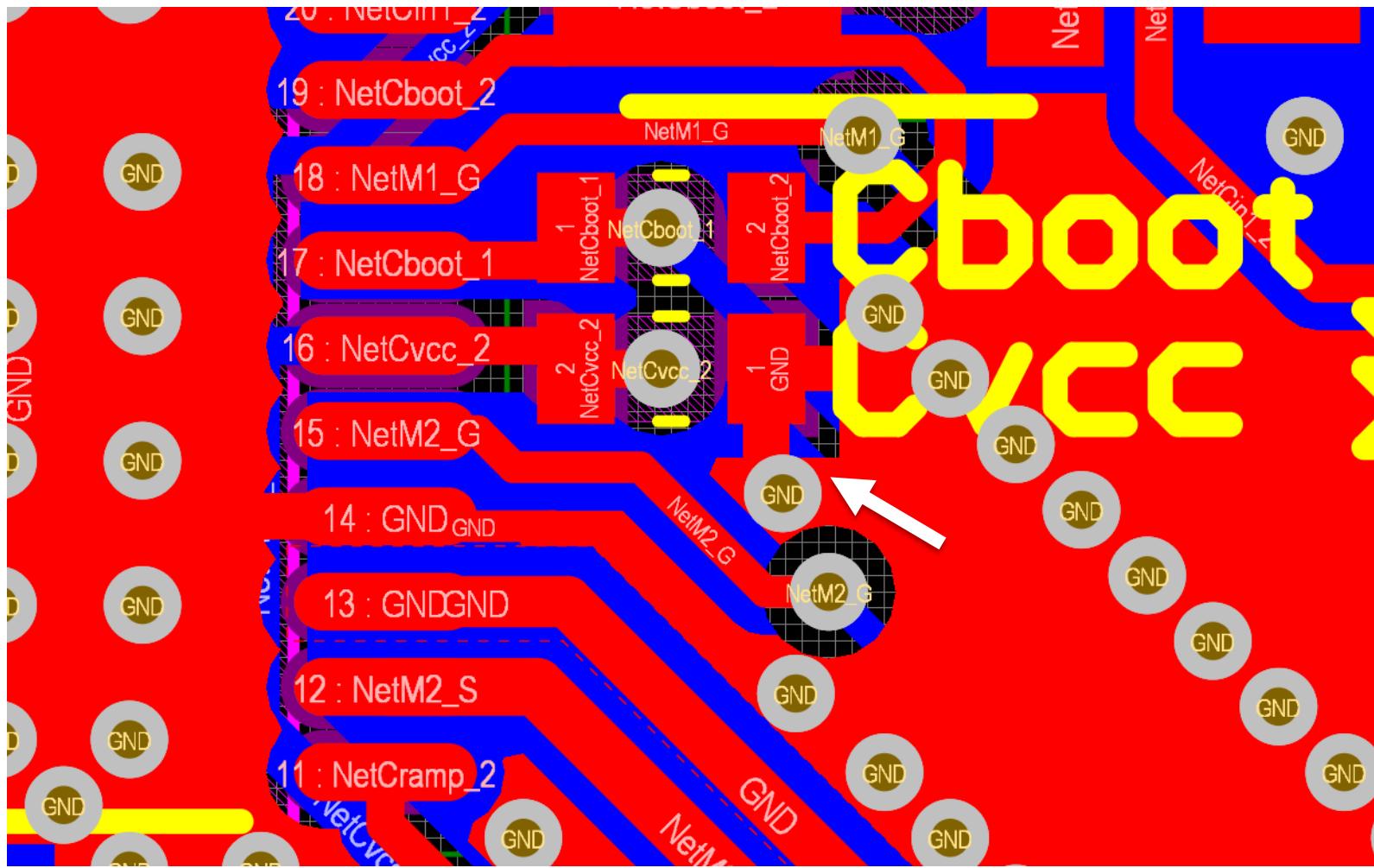
# Jure Štojs

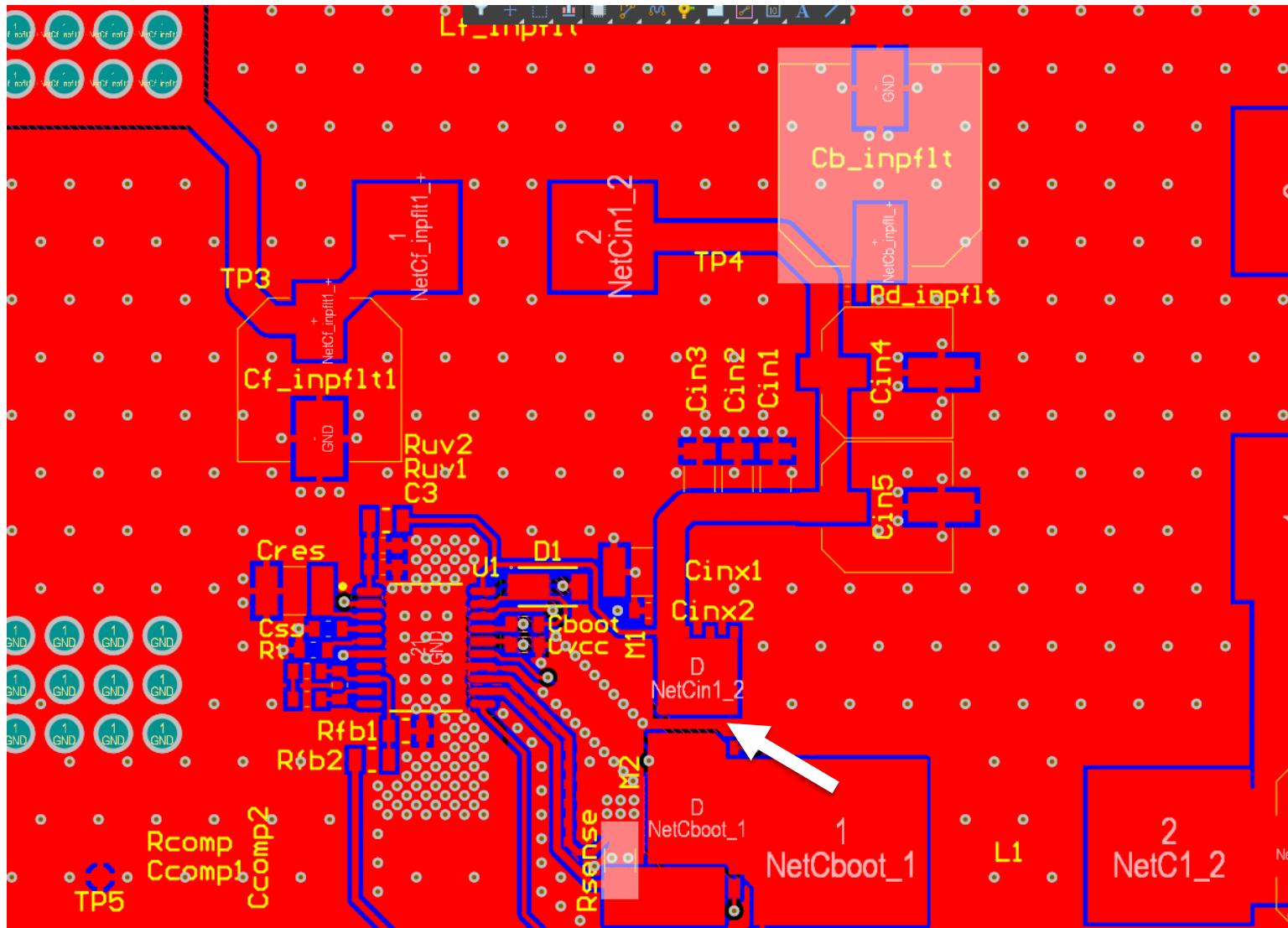


# Jure Štojs

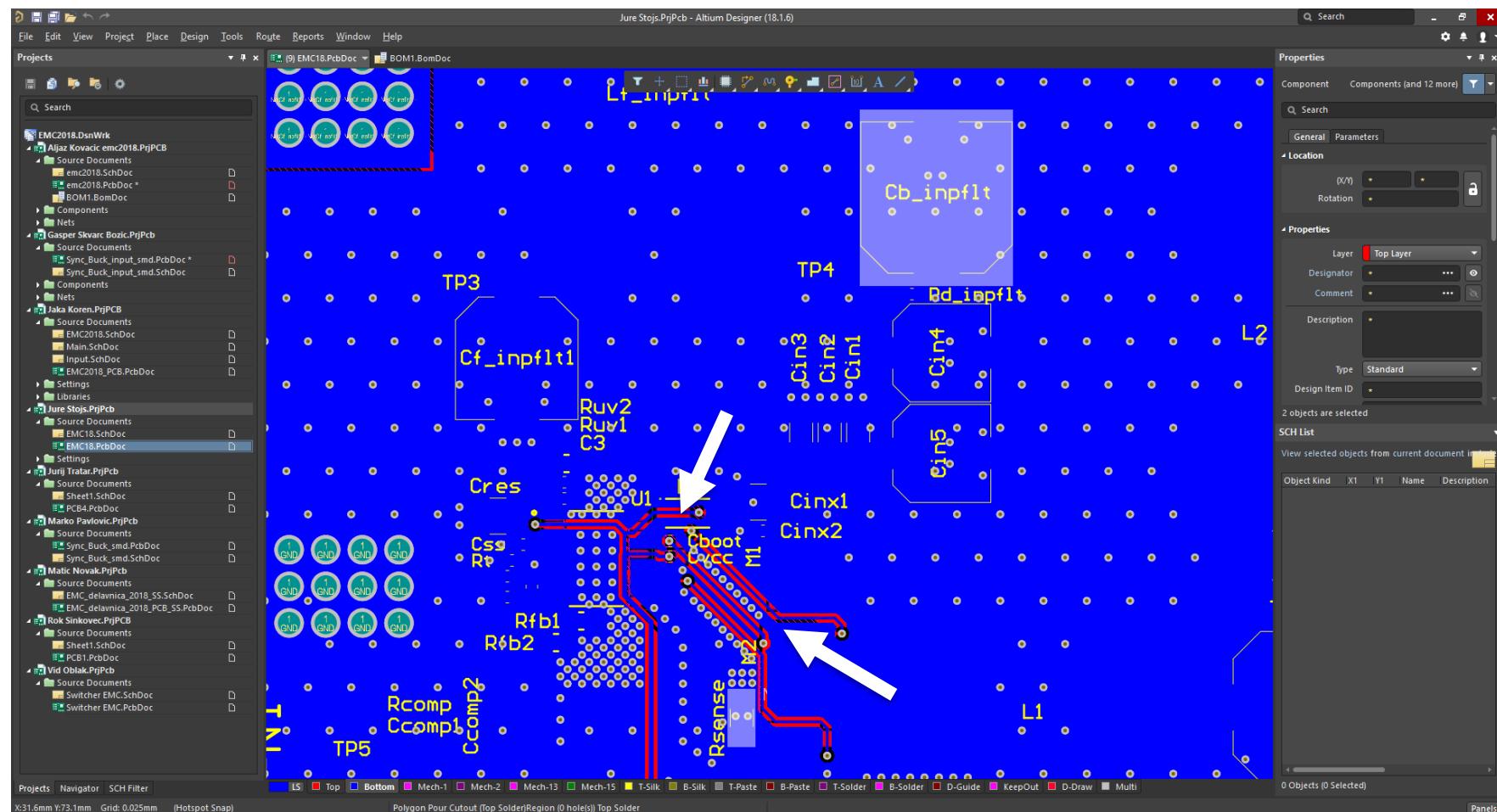


# Jure Štojs

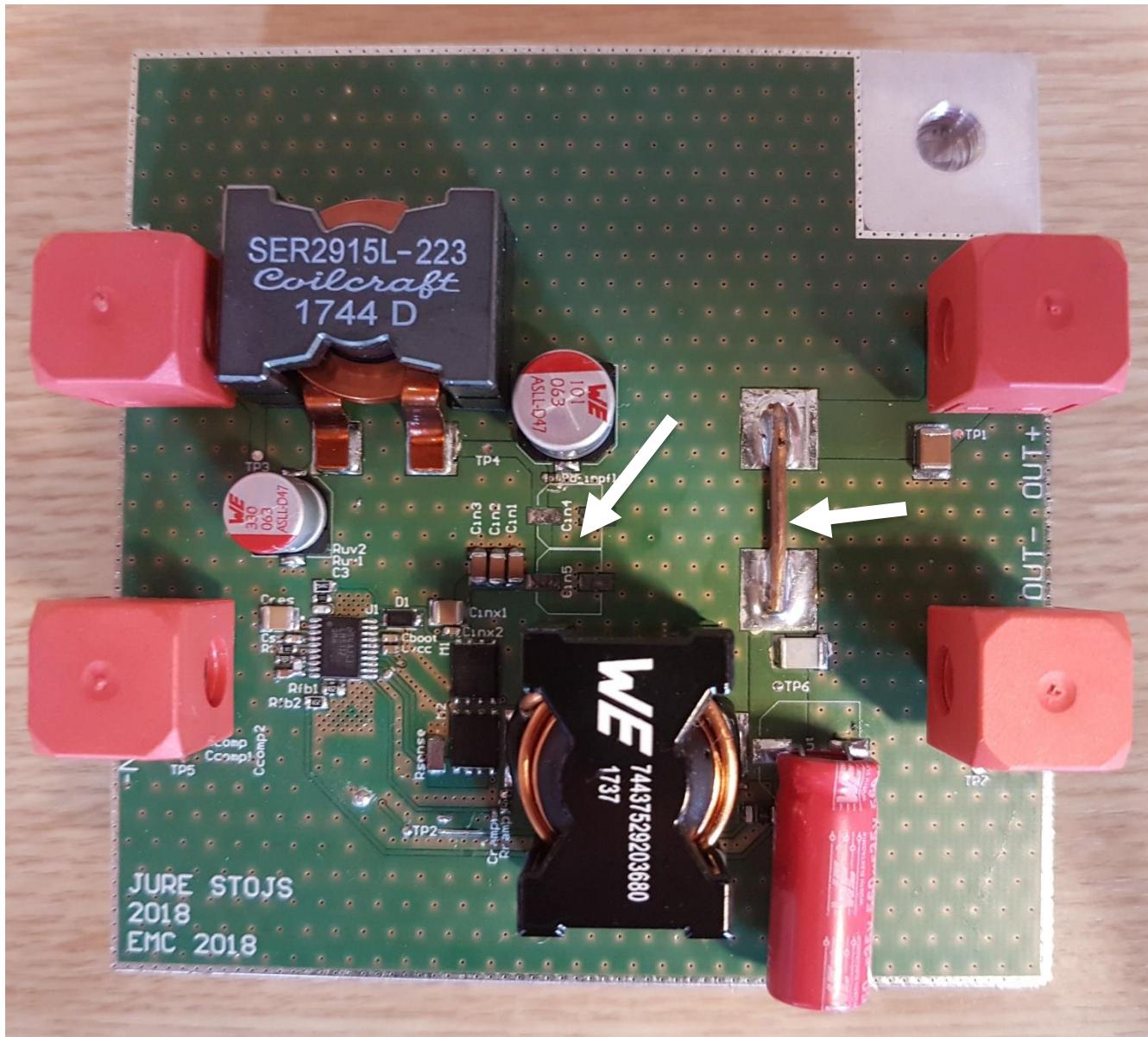


Jure  
Štojs

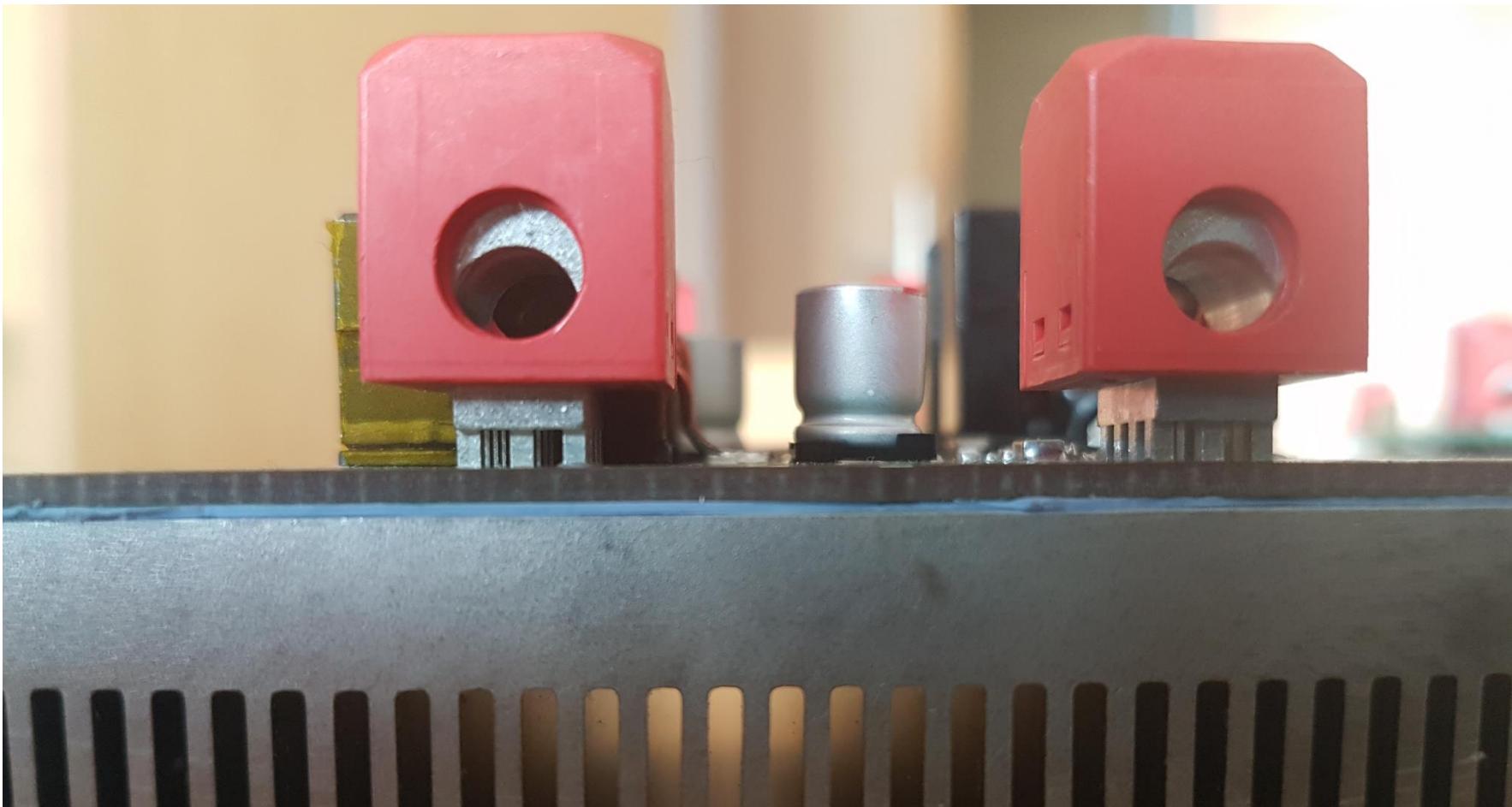
# Jure Štojs



# Jure Štojs



# Jure Štojs



# Jure Štojs: Električne meritve

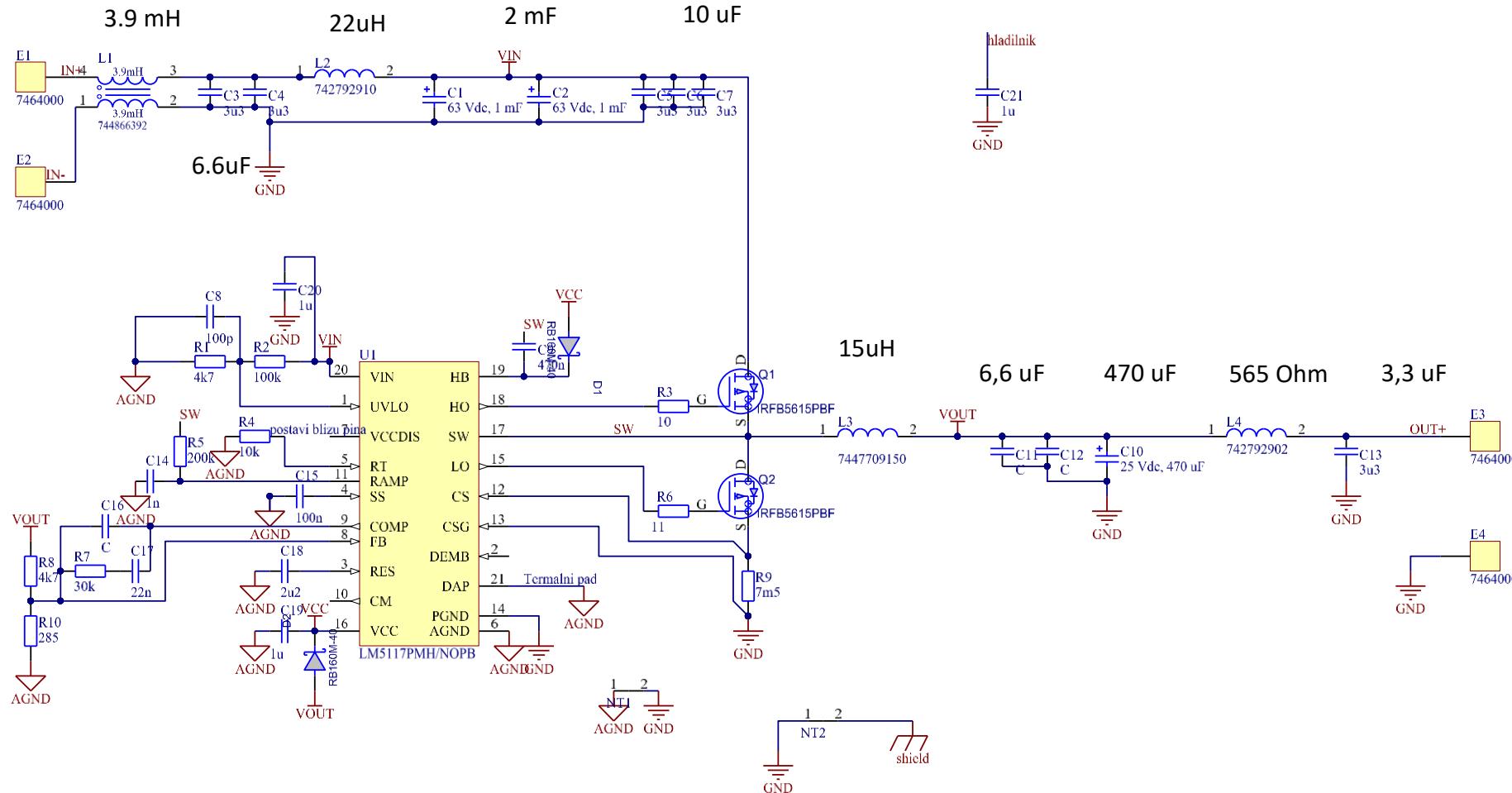
Študent	$I$	$R_b = 10 \Omega$			$R_b = 2 \Omega$		
	$I$	$U_{vh} = 36 \text{ V}$	$U_{vh} = 48 \text{ V}$	$U_{vh} = 60 \text{ V}$	$U_{vh} = 36 \text{ V}$	$U_{vh} = 48 \text{ V}$	$U_{vh} = 60 \text{ V}$
Jure Štojs	$I_{vh} [\text{A}]$	0,578	0,549	0,461	nedelugoč	nedelugoč	nedelugoč
	$I_{izh} [\text{A}]$	1,452	1,452	1,452	nedelugoč	nedelugoč	nedelugoč
	$U_{izh} [\text{V}]$	14,68	14,68	14,68	nedelugoč	nedelugoč	nedelugoč

Cena ključnih komponent: **14 €**

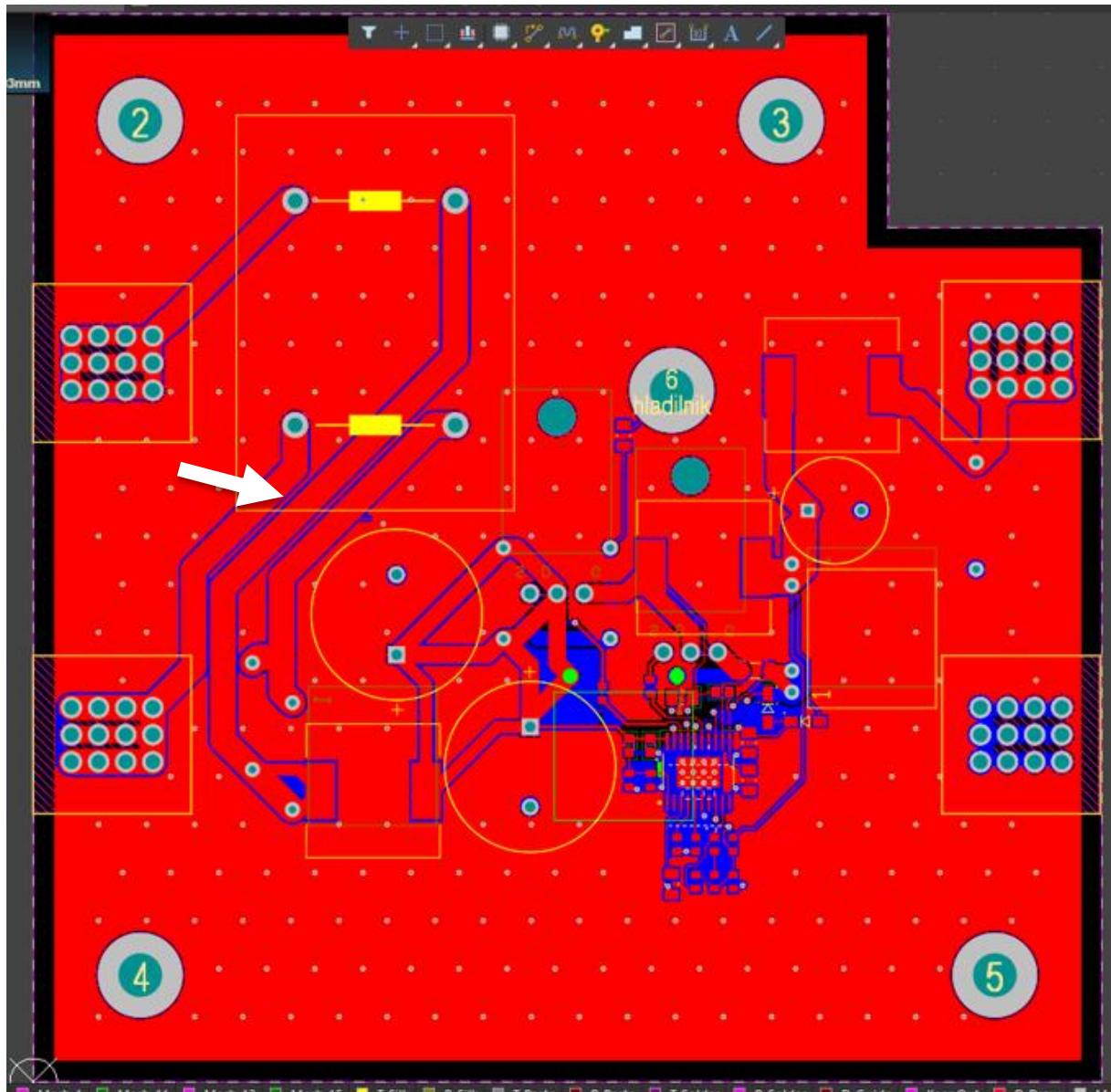
# Jure Štojs: točkovanje

Preizkus	Zahtevano	Dosegel	Točke
<b>Funkcionalni (območje vh. napetosti, nastavljena izh. napetost, valovitost)</b>	Znotraj zahtev	NEDELUJOČ pri polni obremenitvi	0
<b>Izkoristek</b>	Nad 75 %	/	0
<b>Prevodne emisije</b>	Nižje od razreda 1	/	0
<b>Sevalne emisije</b>	Nižje od razreda 1	/	0
<b>Zamudnik</b>	/	/	-10
<b>Skupaj točk</b>			<b>Diskvalificiran</b>

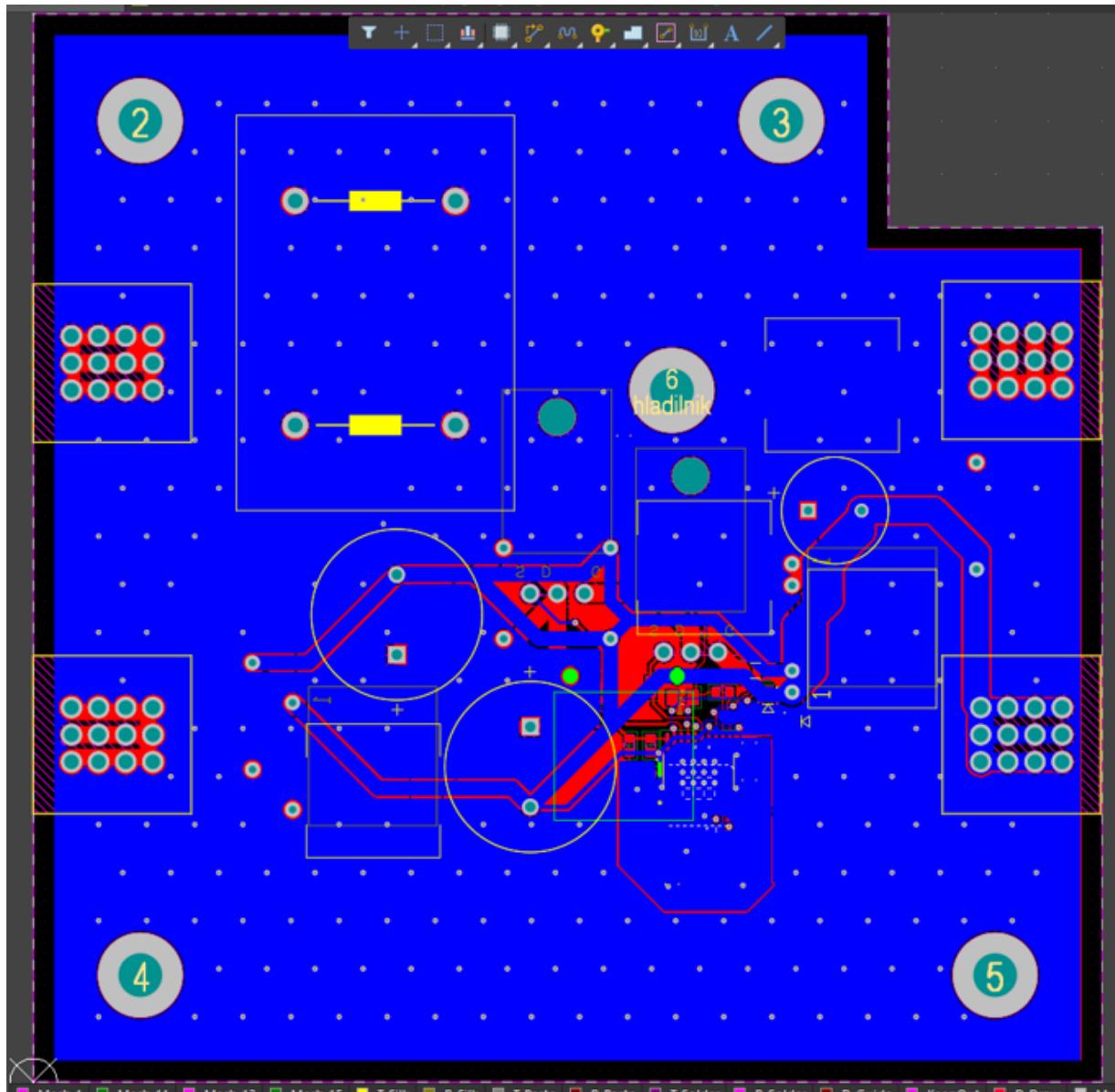
# Jurij Tratar



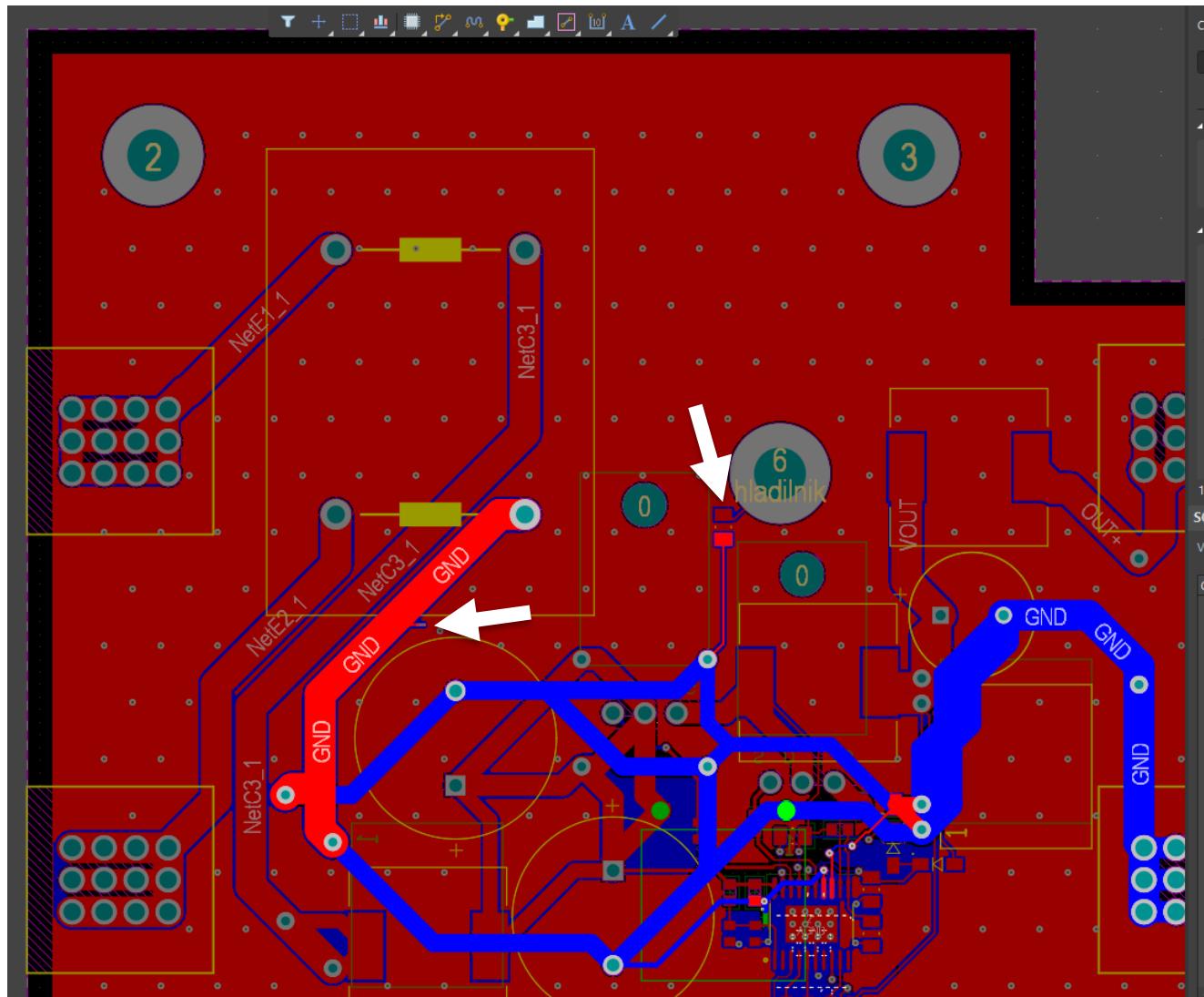
# Jurij Tratar



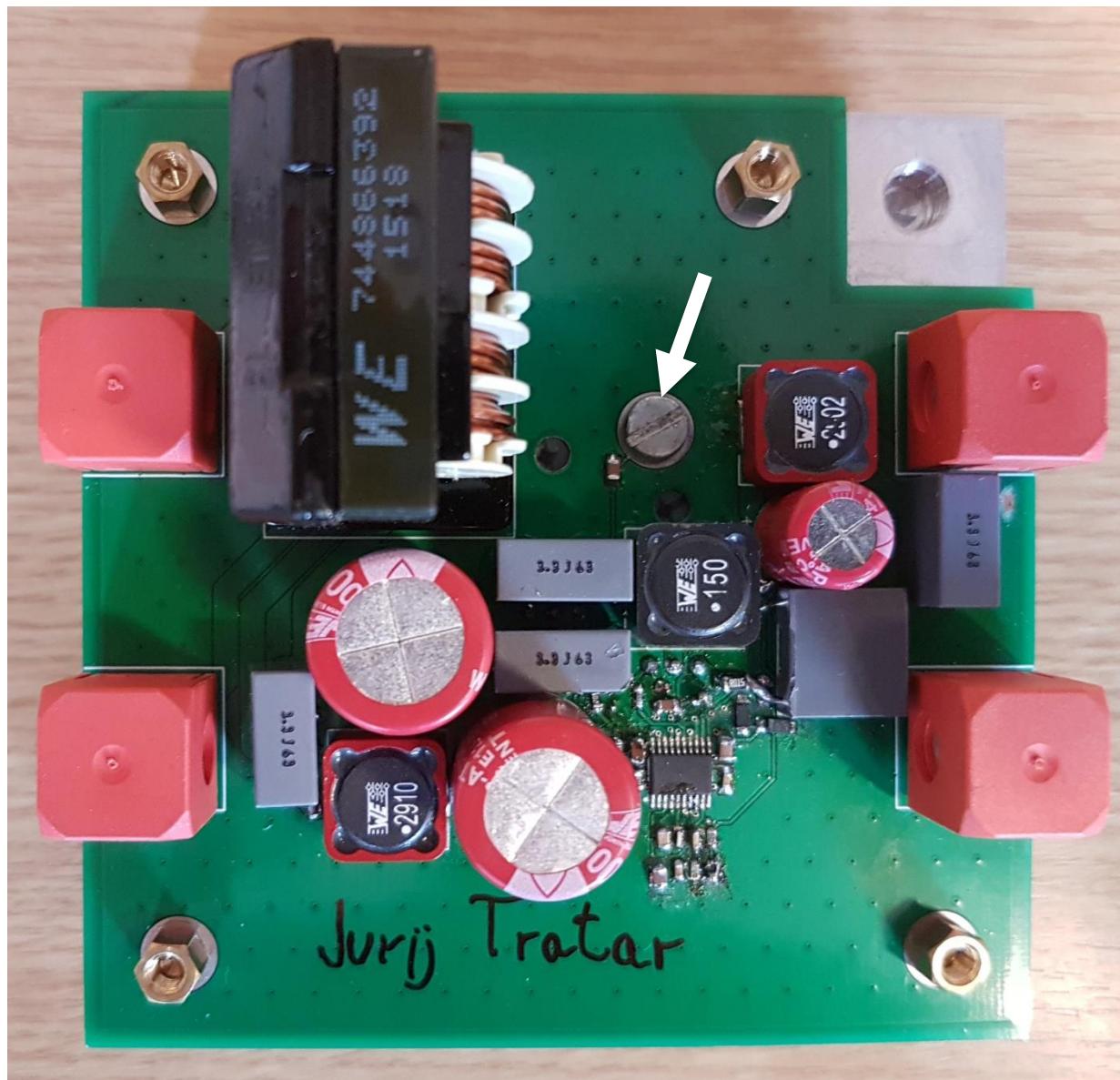
# Jurij Tratar



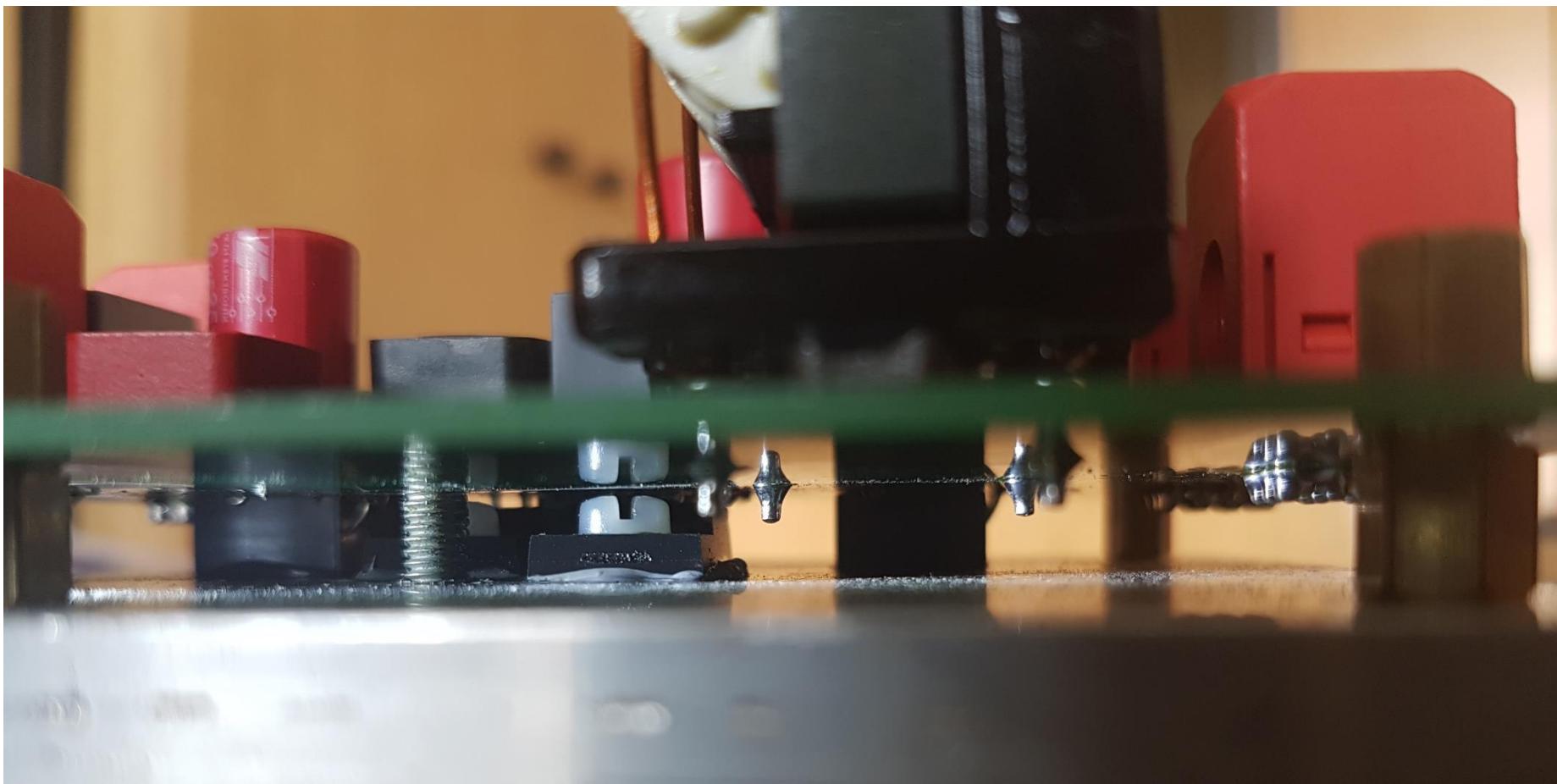
# Jurij Tratar



# Jurij Tratar



# Jurij Tratar



# Jurij Tratar: Električne meritve

Študent	/	$R_b = 10 \Omega$			$R_b = 2 \Omega$		
	/	$U_{vh} = 36 V$	$U_{vh} = 48 V$	$U_{vh} = 60 V$	$U_{vh} = 36 V$	$U_{vh} = 48 V$	$U_{vh} = 60 V$
Jurij Tratar	$I_{vh} [A]$	0,618	0,503	0,402	2,823	2,159	1,751
	$I_{izh} [A]$	1,386	1,386	1,386	6,650	6,664	6,662
	$U_{izh} [V]$	13,96	13,96	13,96	13,84	13,83	13,84

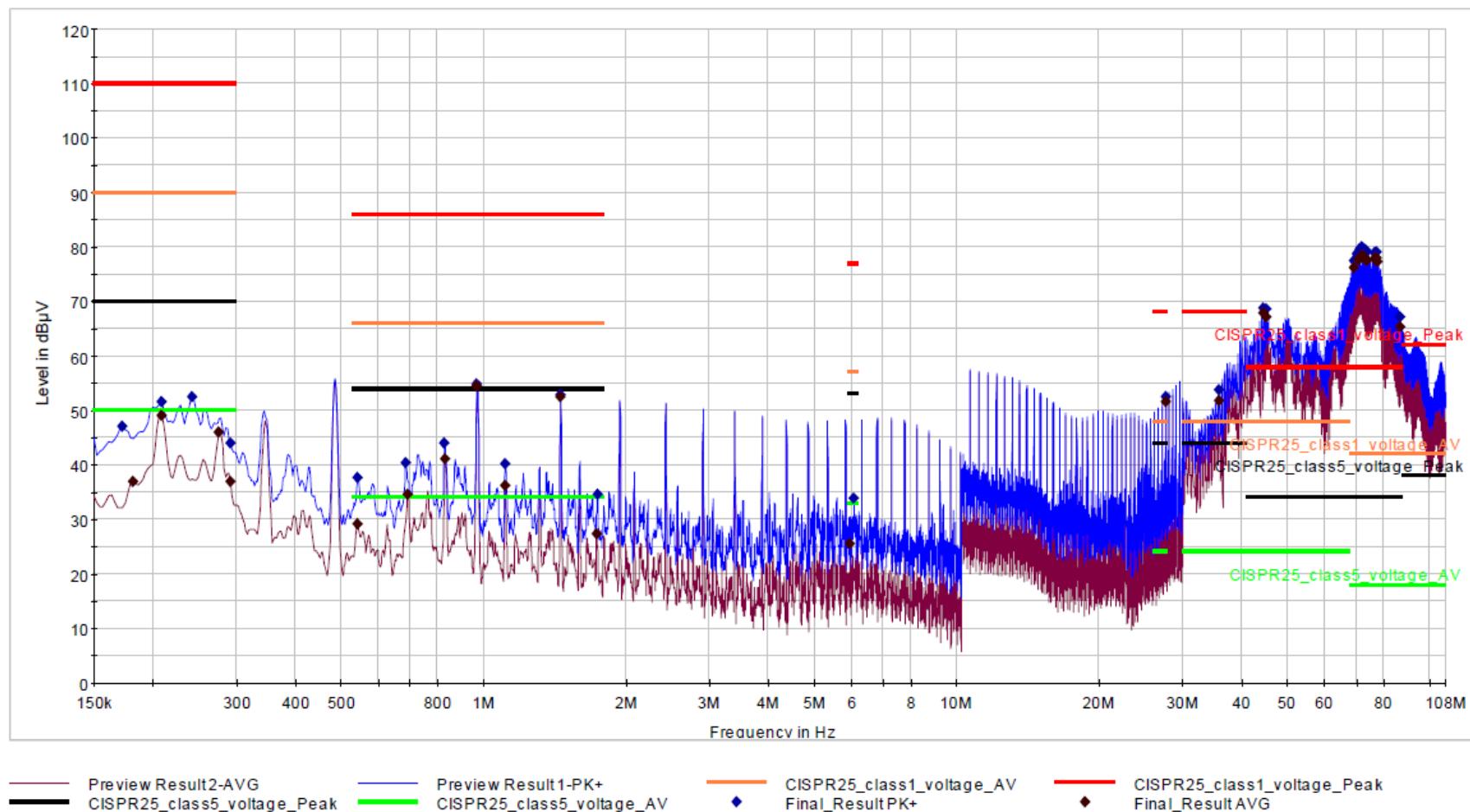
Izkoristek: **89%** (*zahteva nad 75%*)

Valovitost pri osnovni frekvenci: **200 mV** (*zahteva pod 0,2 V*)

Valovitost skupno: **4,02 V** (*zahteva pod 0,5 V*)

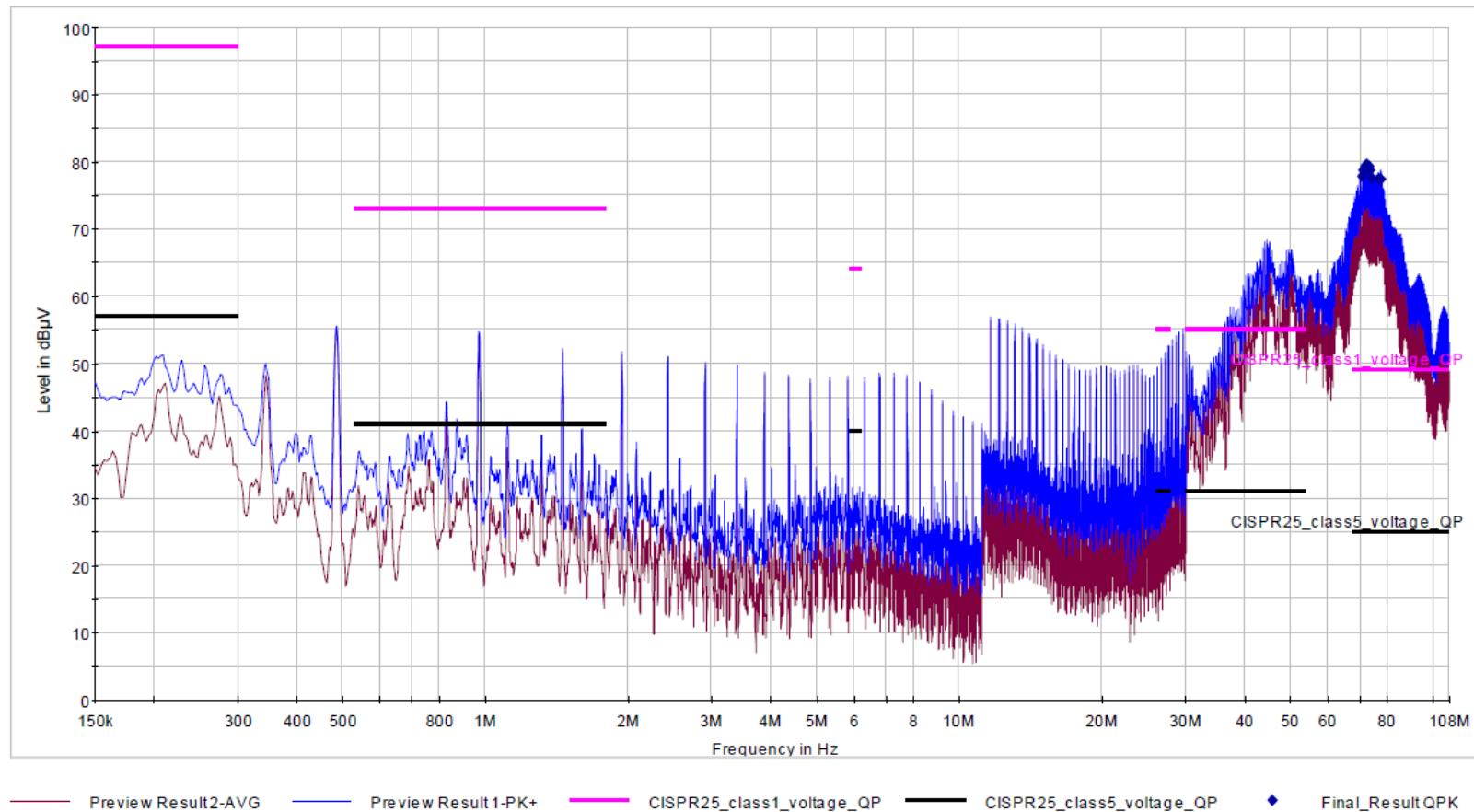
Cena ključnih komponent: **14 €**

# Jurij Tratar: Prevodne motnje PKAV



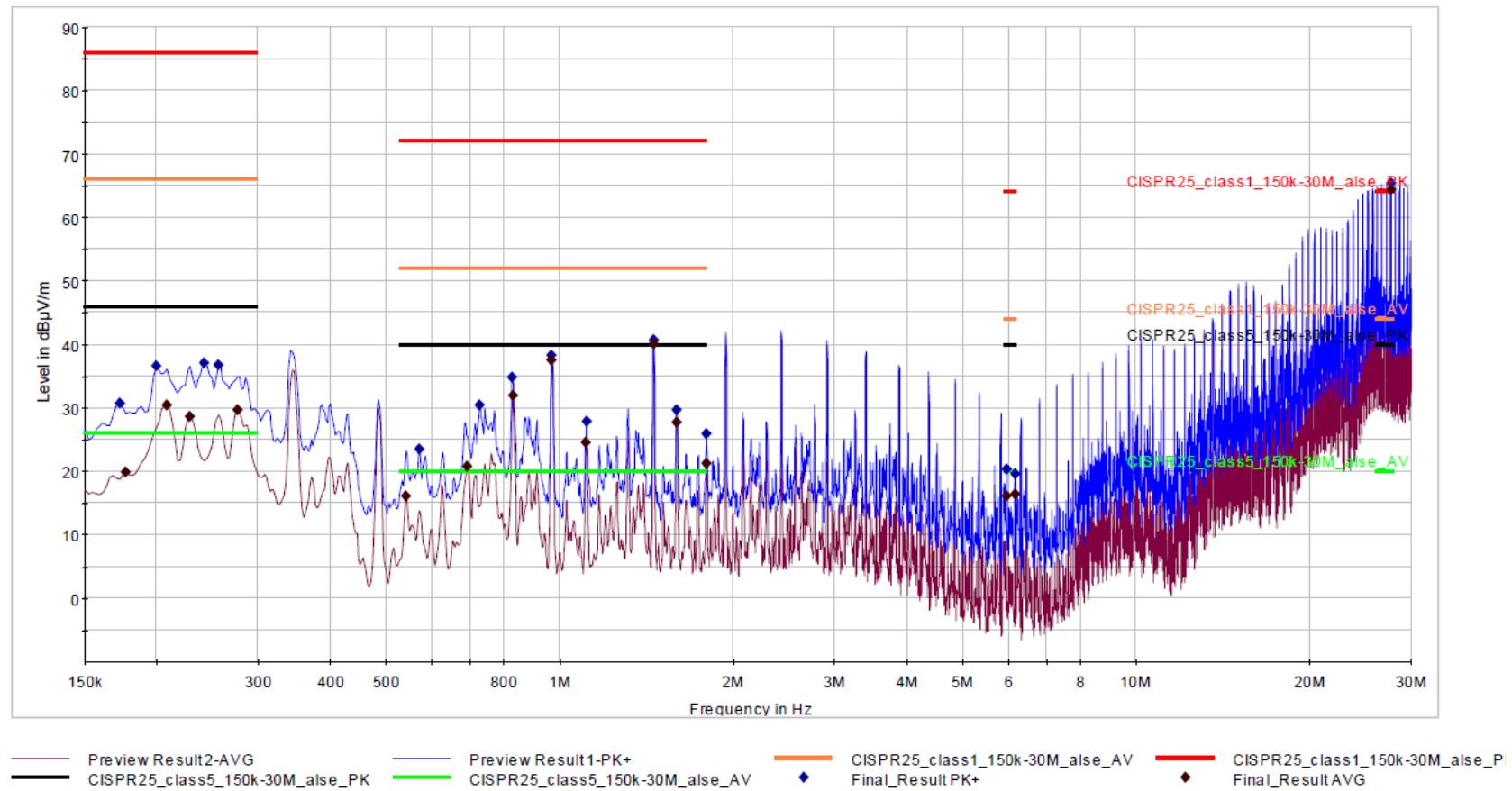
Slika 21: Rezultat na 48V+ priključku s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi

# Jurij Tratar: Prevodne motnje QP



Slika 22: Rezultat na 48V+ priključku s QP detektorjem in razredom 5 mejnimi vrednostmi

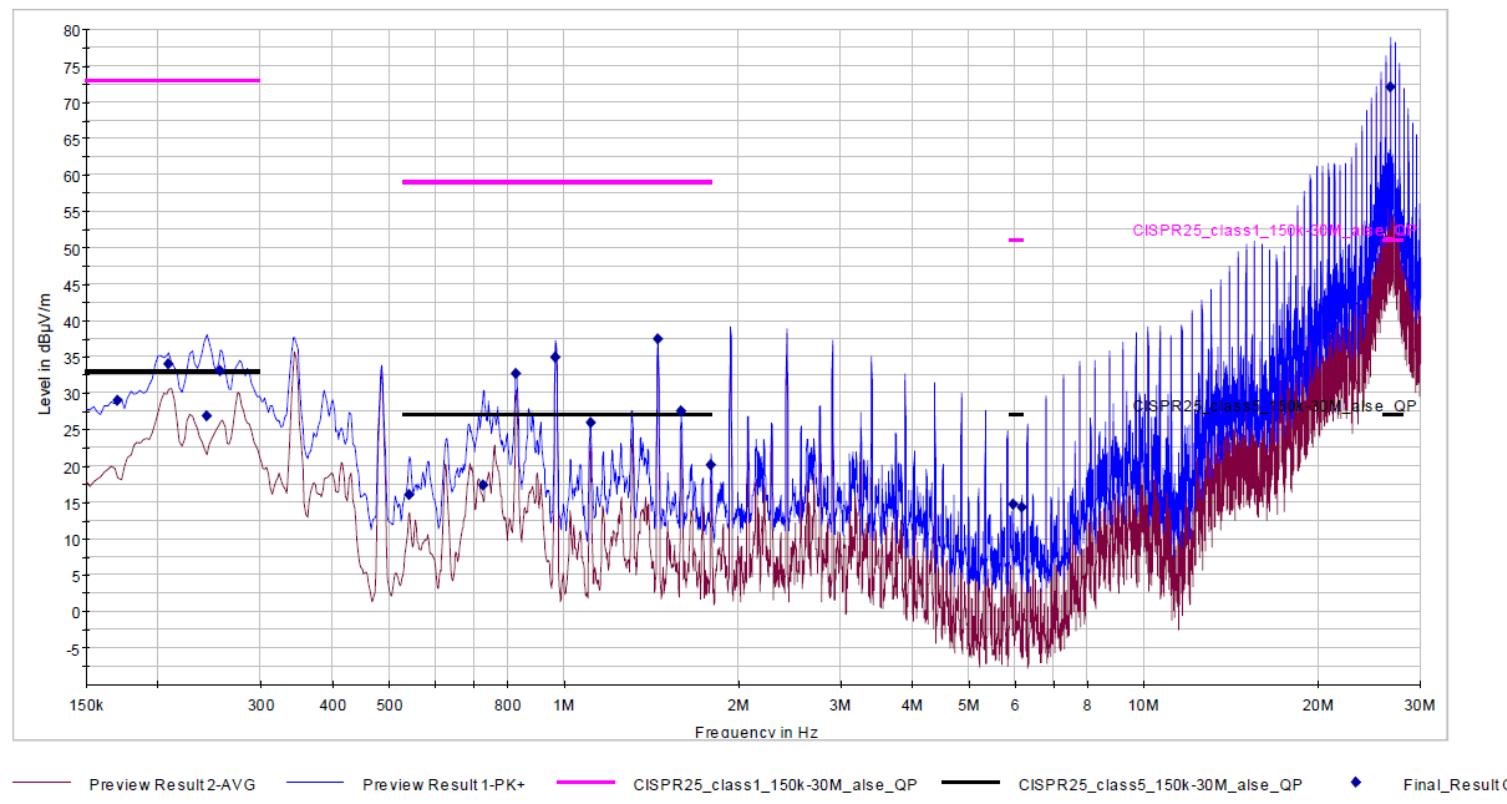
# Jurij Tratar: Sevalne motnje do 30 MHz PKAV ■



Slika 46: Rezultat s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju

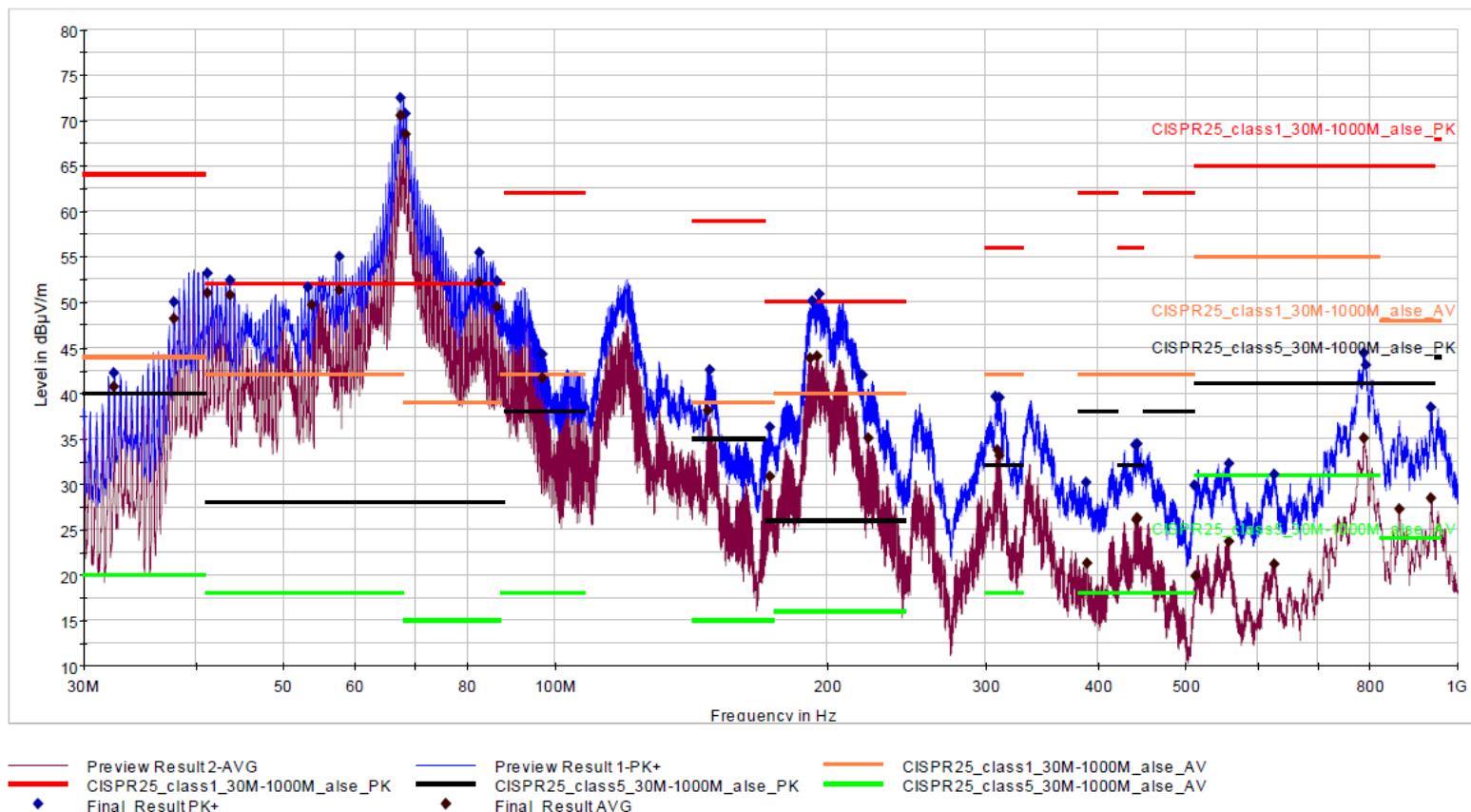
150 kHz – 30 MHz

# Jurij Tratar: Sevalne motnje do 30 MHz QP



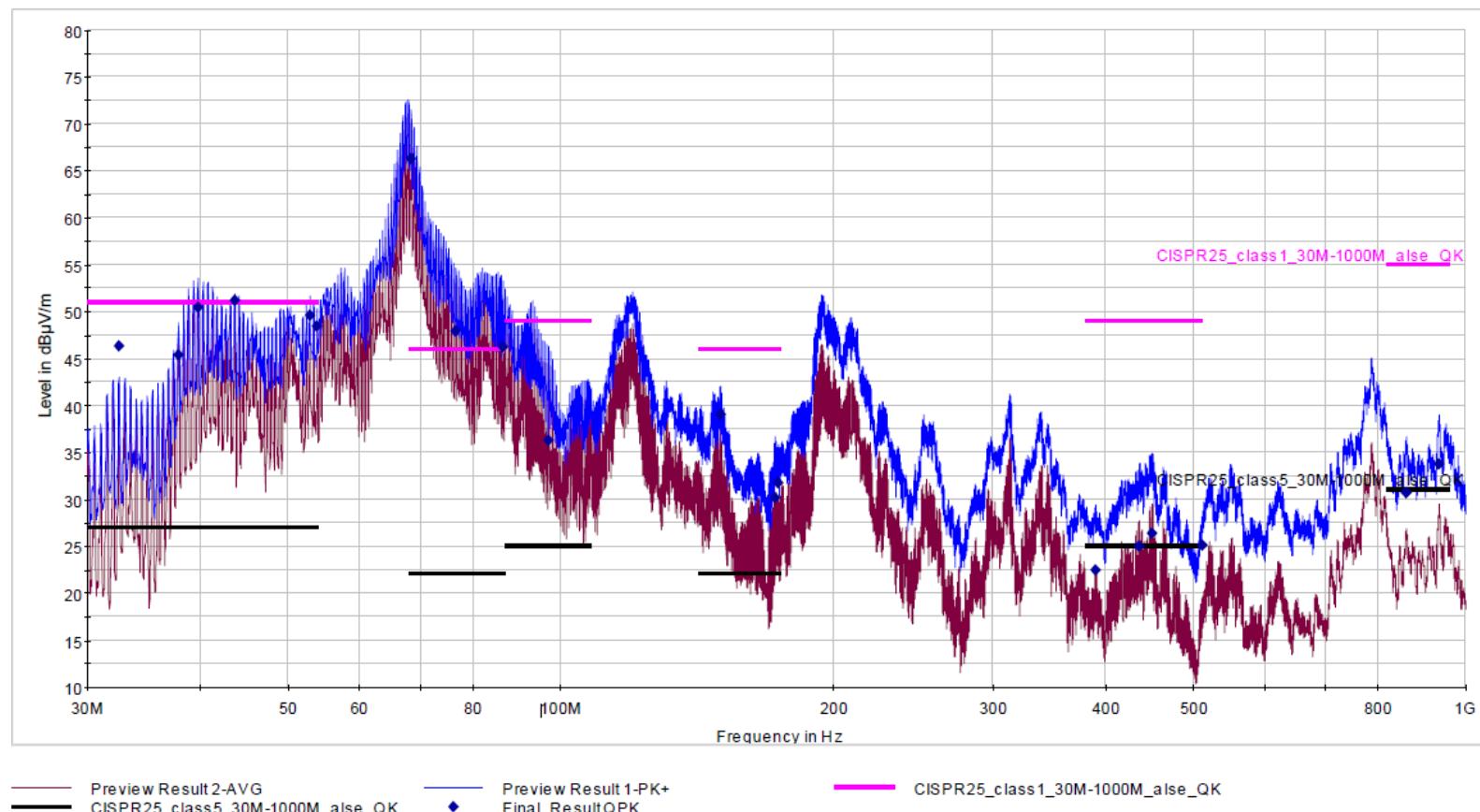
Slika 47: Rezultat s QP detektorjem in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju  
150 kHz – 30 MHz

# Jurij Tratar: Sevalne motnje do 1 GHz PKAV ■



Slika 48: Rezultat s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju  
30 MHz – 1000 MHz

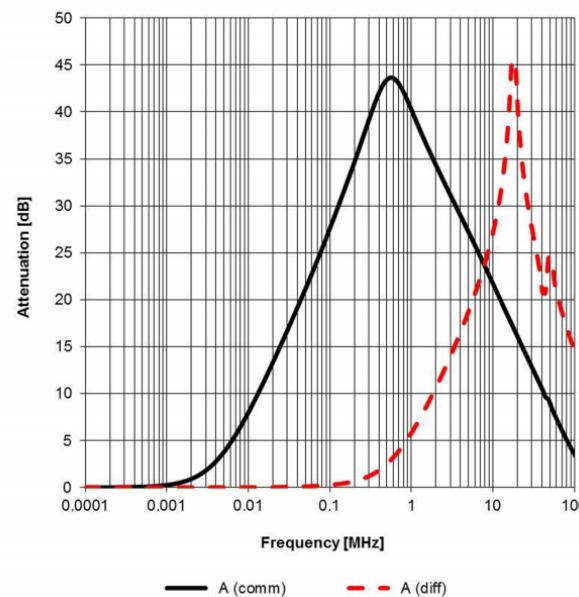
# Jurij Tratar: Sevalne motnje do 1 GHz QP



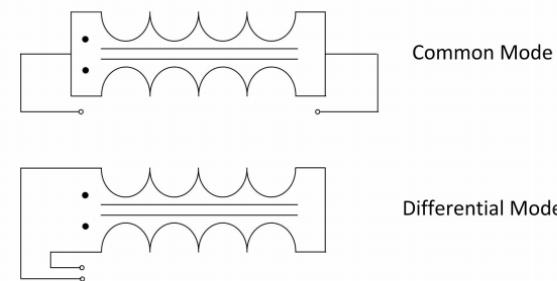
Slika 49: Rezultat s QP detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju 30 MHz – 1000 MHz

# Karakteristika sofazne dušilke

F Typical Insertion Loss Characteristics:

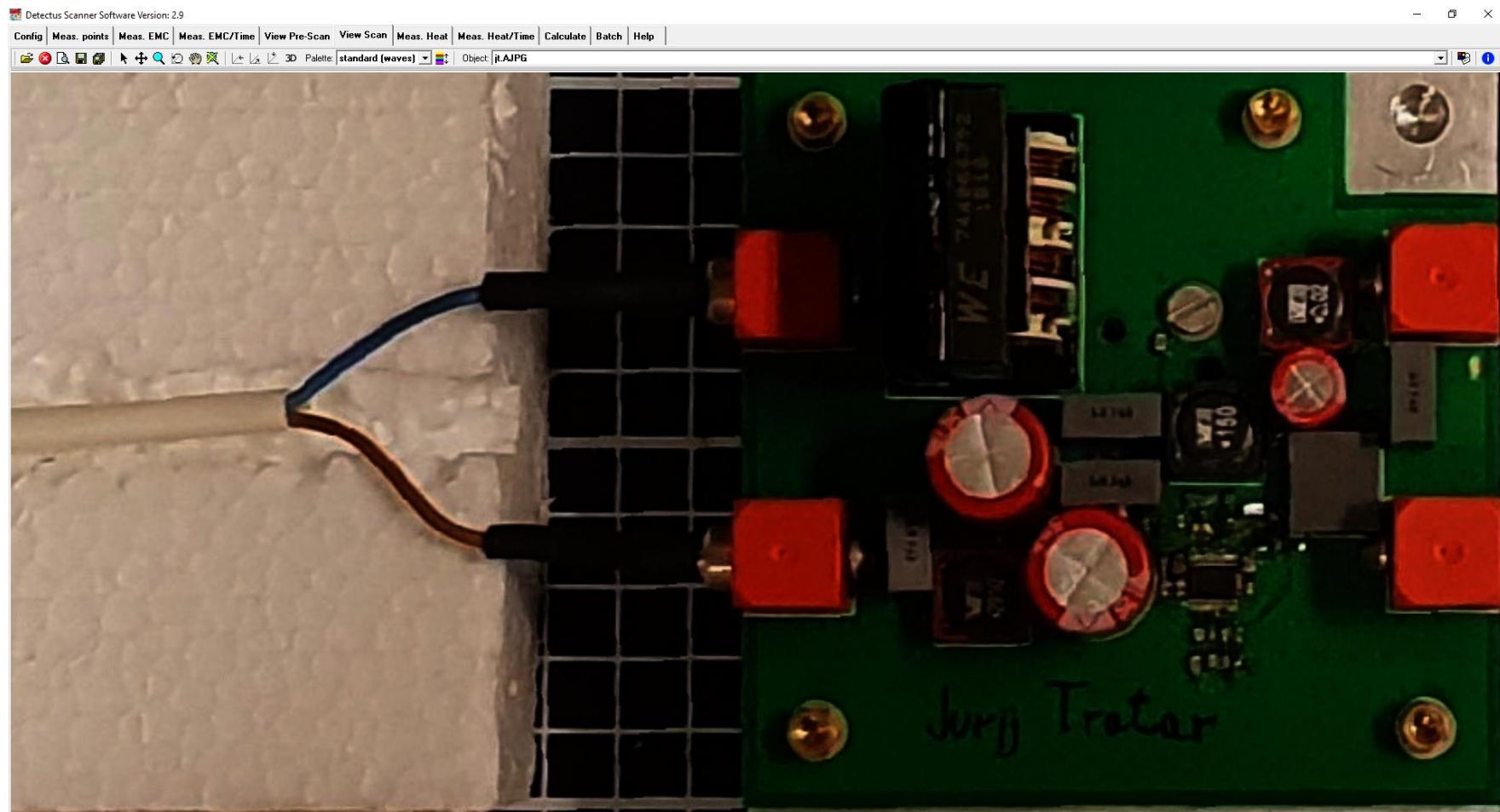


Test Setup:

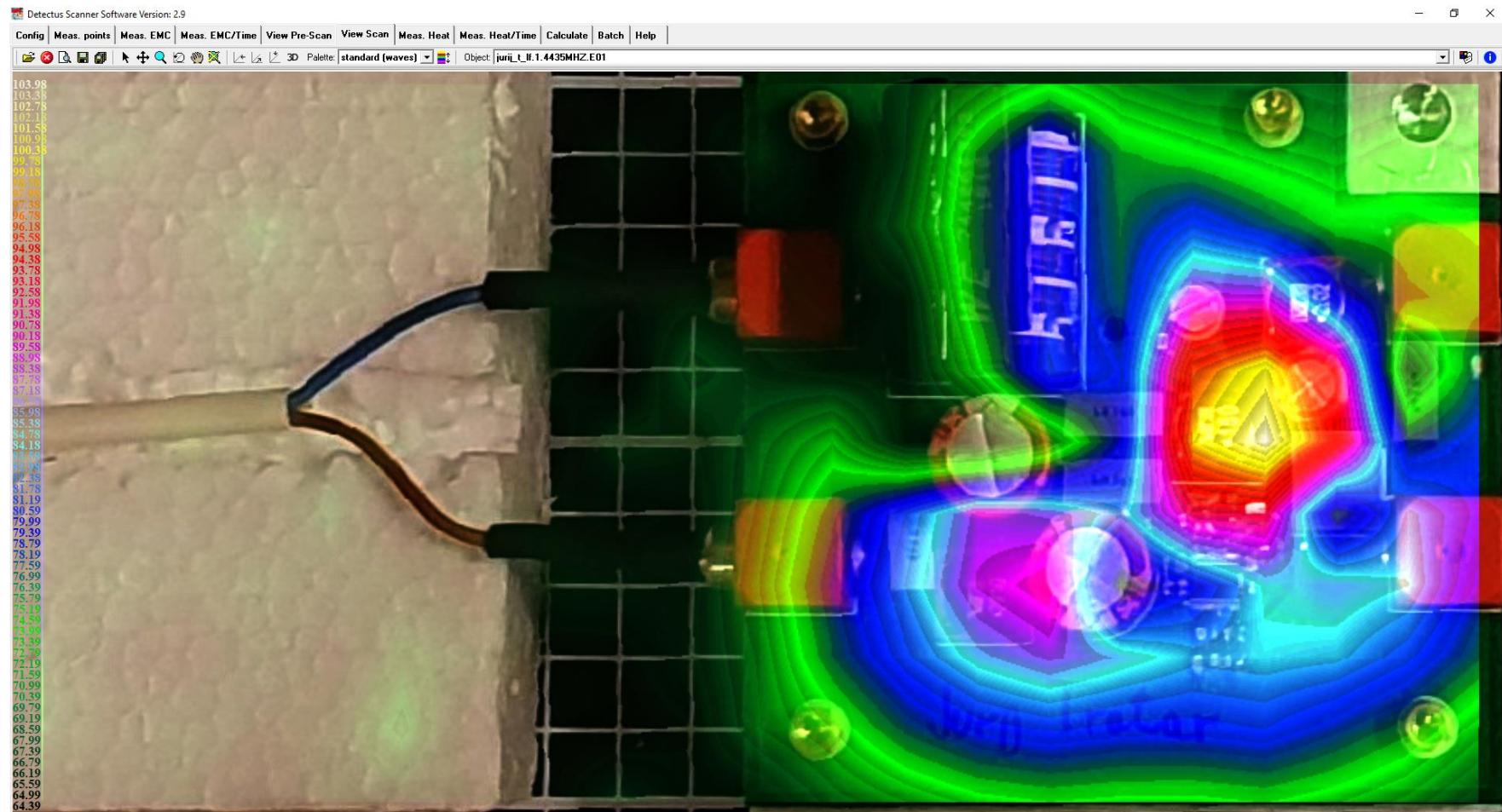


Projection	Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG EMC & Inductive Solutions Max-Eyth-Str. 1	DESCRIPTION
<b>WE-FCL Common Mode Power Line Choke</b>		

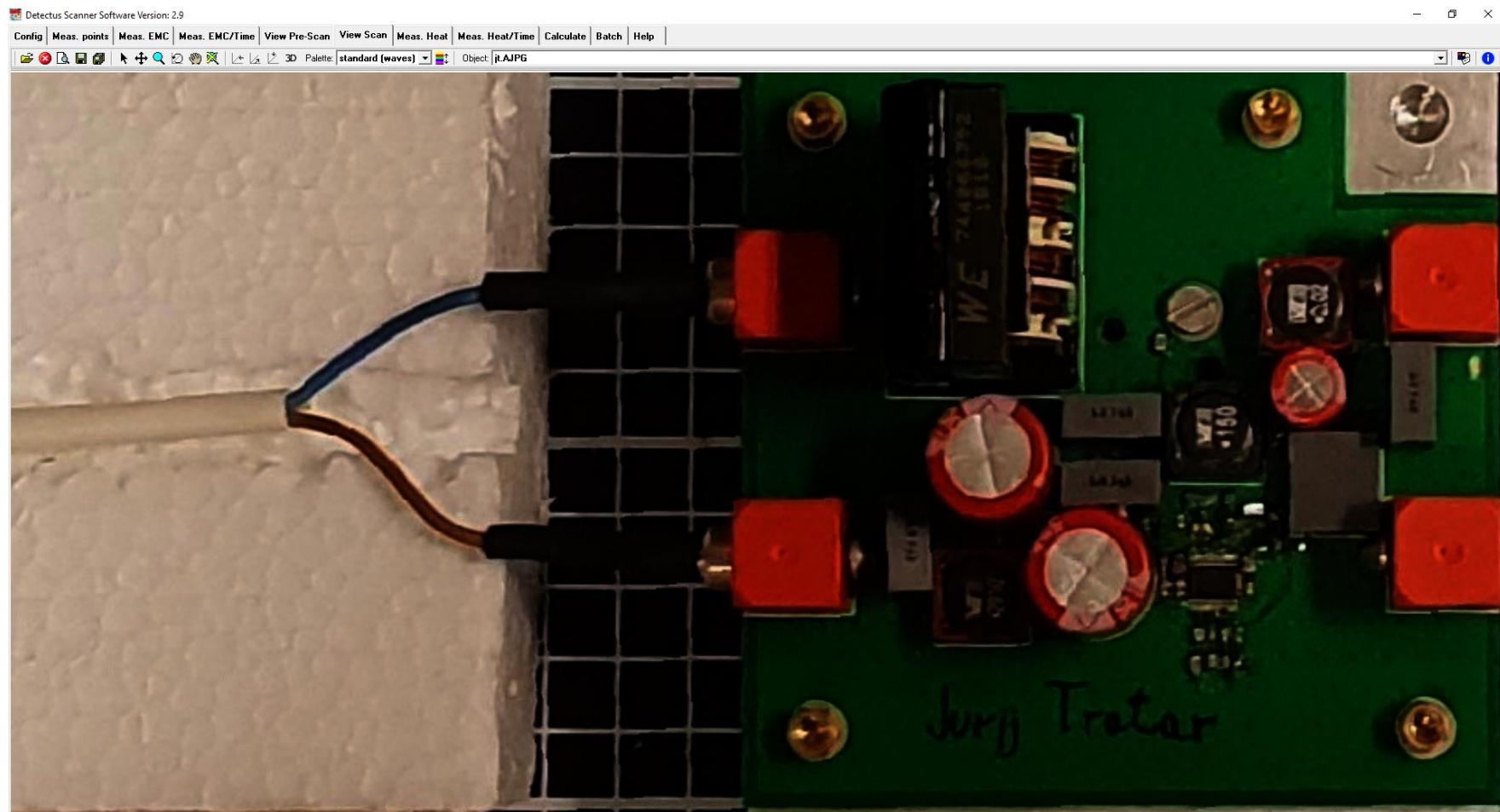
# Jurij Tratar: Detectus



# Jurij Tratar: magnetno polje 1,44 MHz



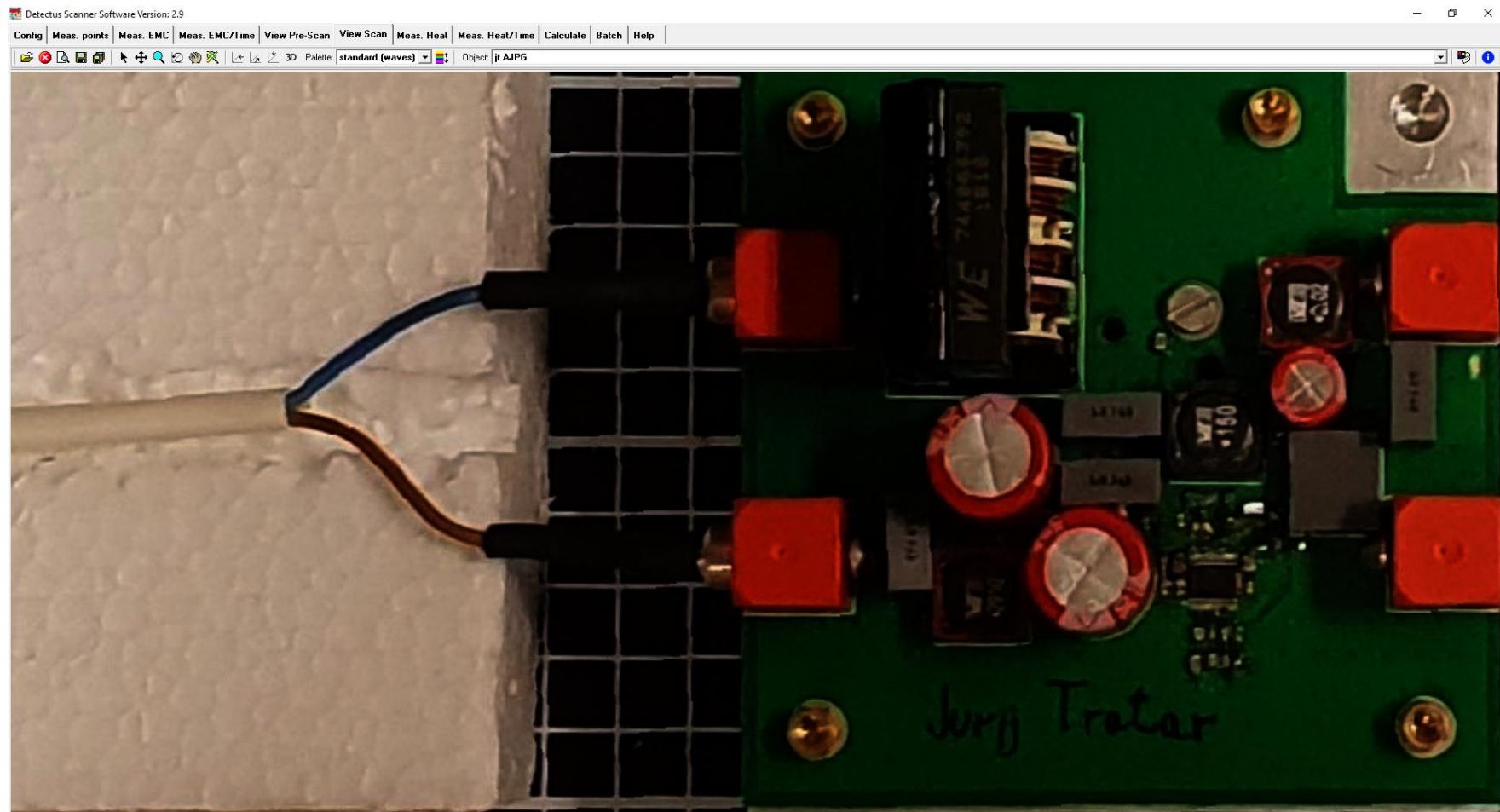
# Jurij Tratar: Detectus



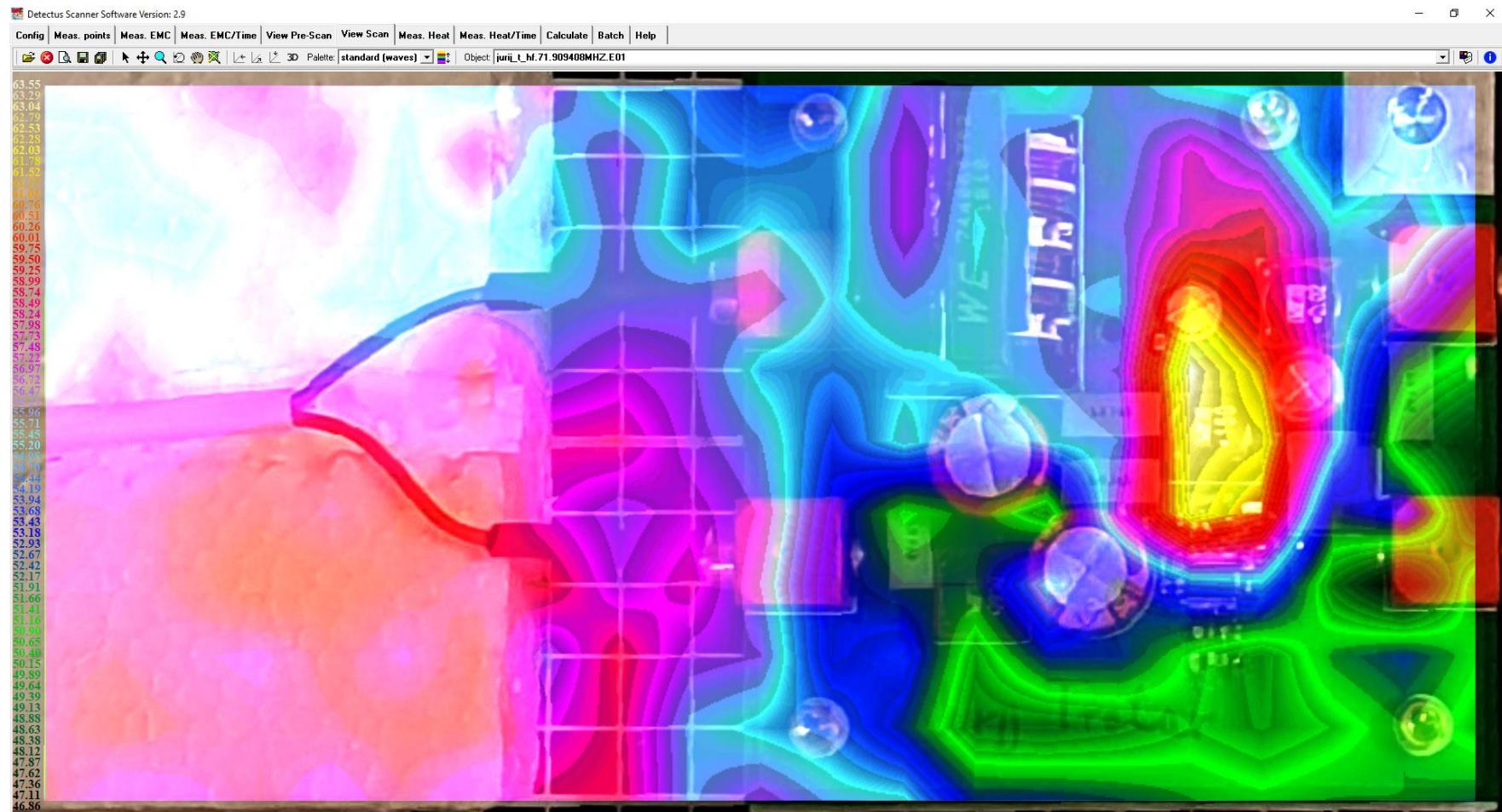
# Jurij Tratar: električno polje 1,44 MHz



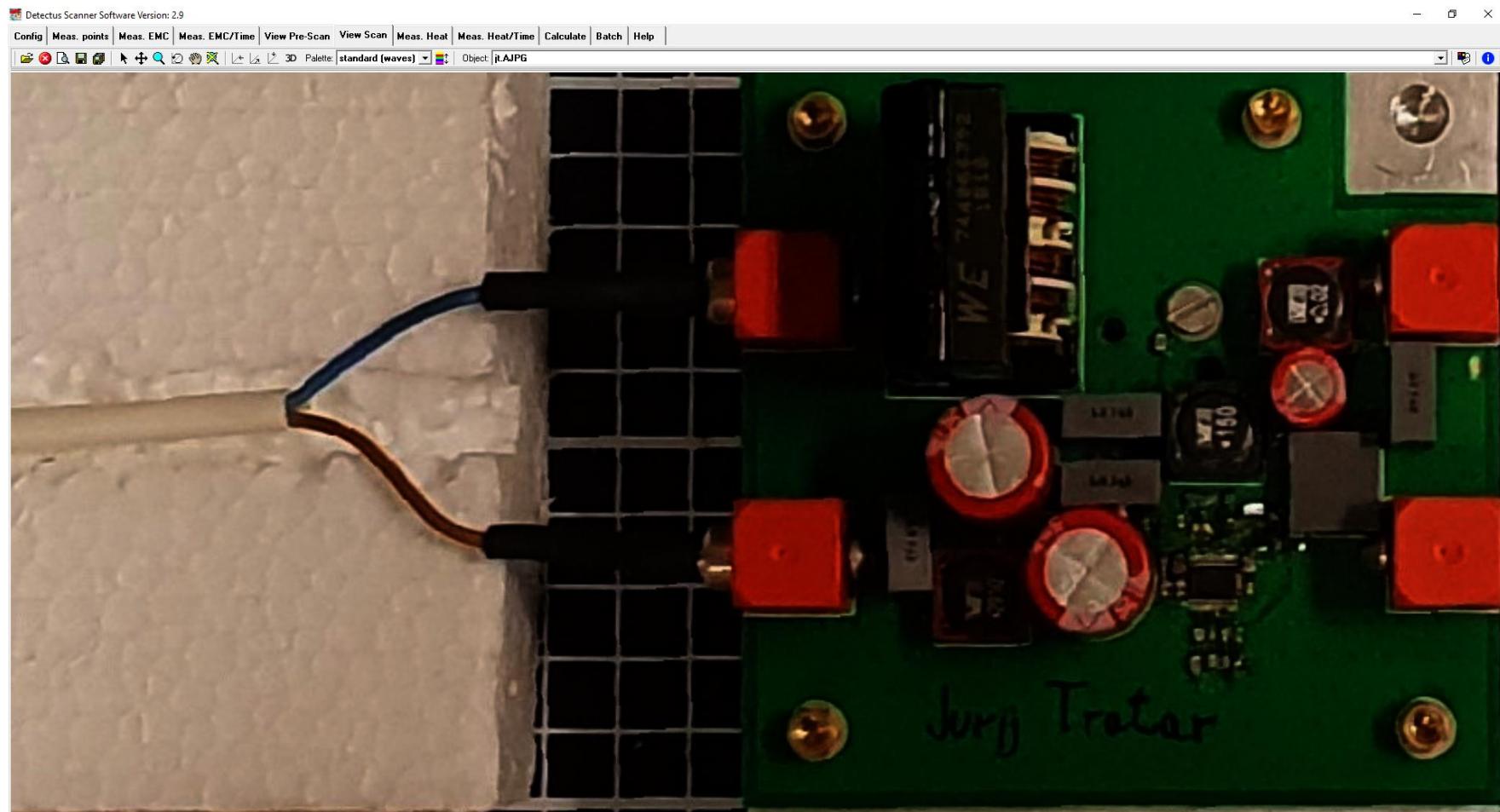
# Jurij Tratar: Detectus



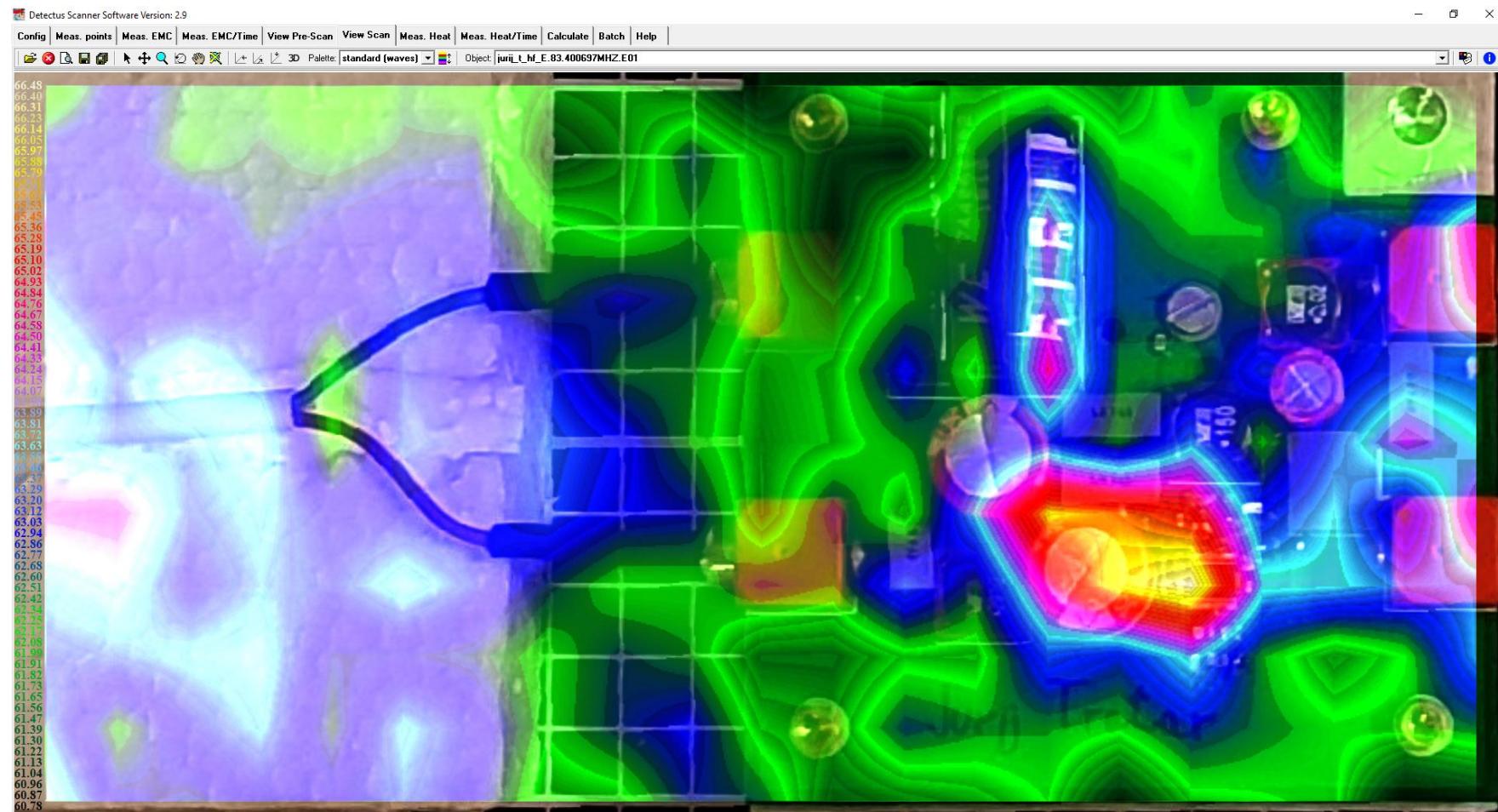
# Jurij Tratar: magnetno polje 71,9 MHz



# Jurij Tratar: Detectus



# Jurij Tratar: električno polje 83.4 MHz



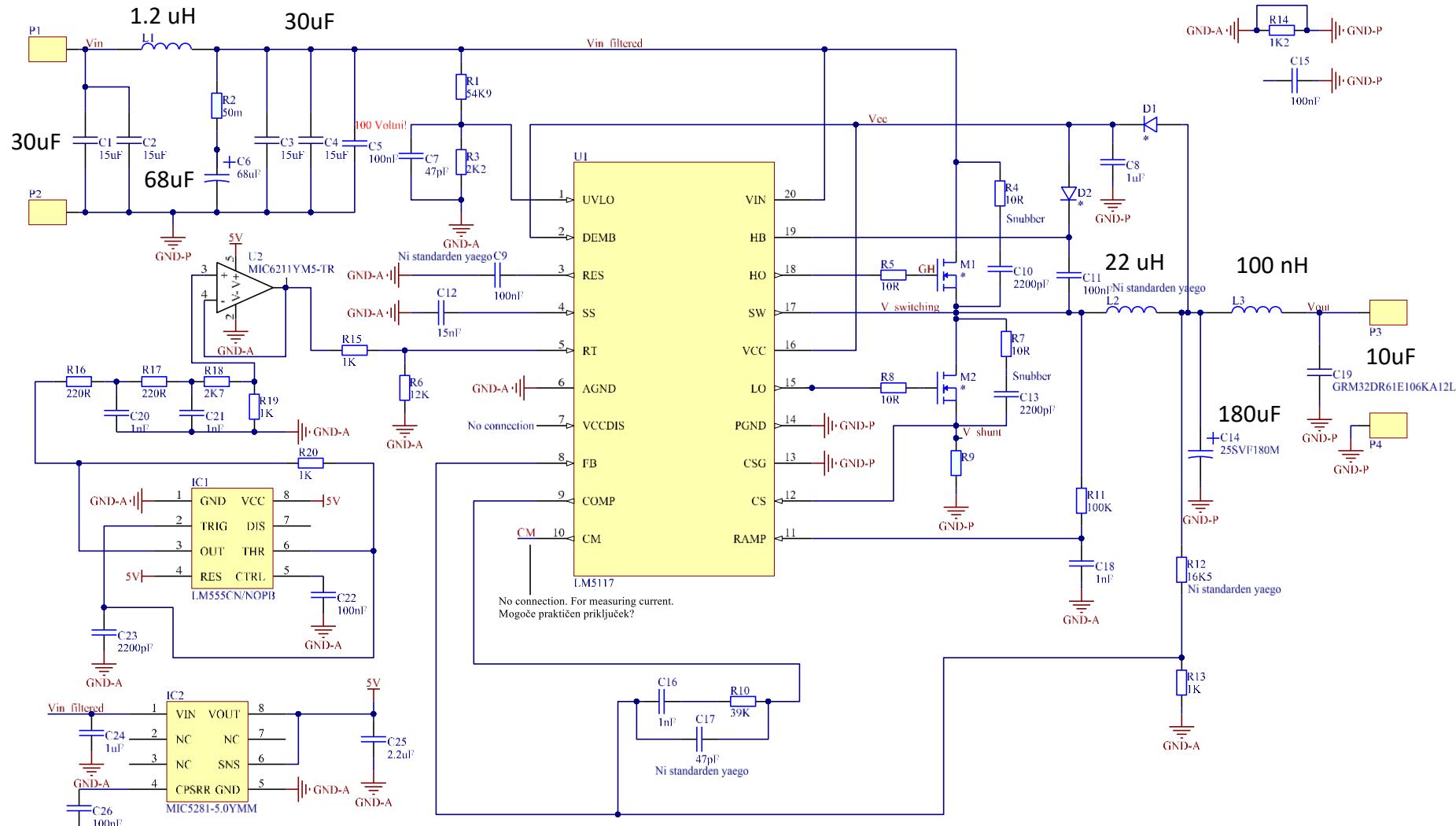
# Jurij Tratar: točkovanje

Preizkus	Zahtevano	Dosegel	Točke
Funkcionalni  (območje vh. napetosti, nastavljena izh. napetost, valovitost)	Znotraj zahtev	Odstopanje pri celotni izhodni valovitosti	8
Izkoristek	Nad 75 %	89%	14
Prevodne emisije	Nižje od razreda 1	Višje od razreda 1	-36,37
Sevalne emisije	Nižje od razreda 1	Višje od razreda 1	-29,49
Skupaj točk			-43,86

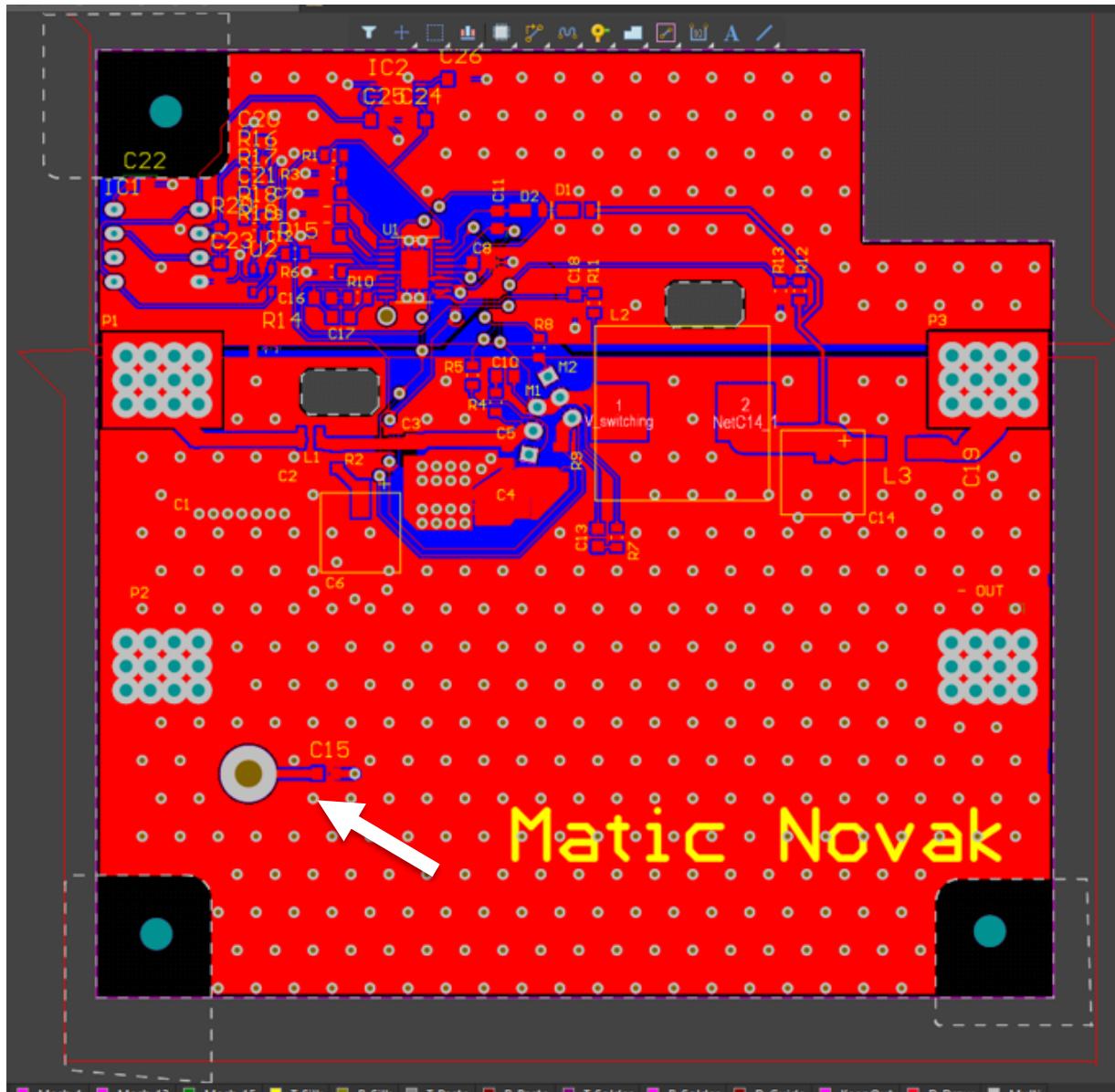
Prevodne emisije: preko razreda 1 limit pri 72,24 MHz za 36,37 dBuV

Sevalne emisije: preko razreda 1 limit pri 68,31 MHz za 29,49 dBuV/m.

# Matic Novak



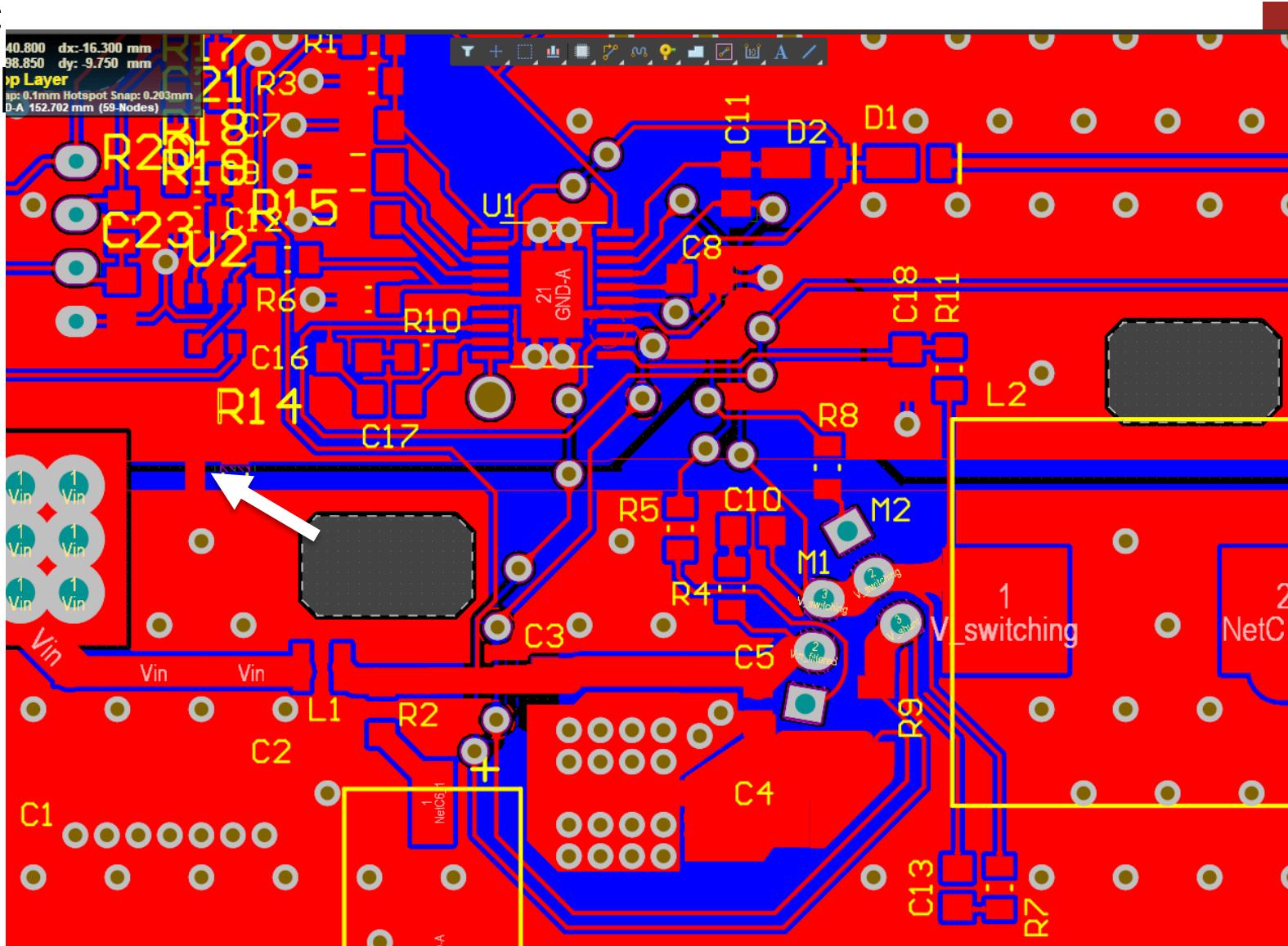
# Matic Novak



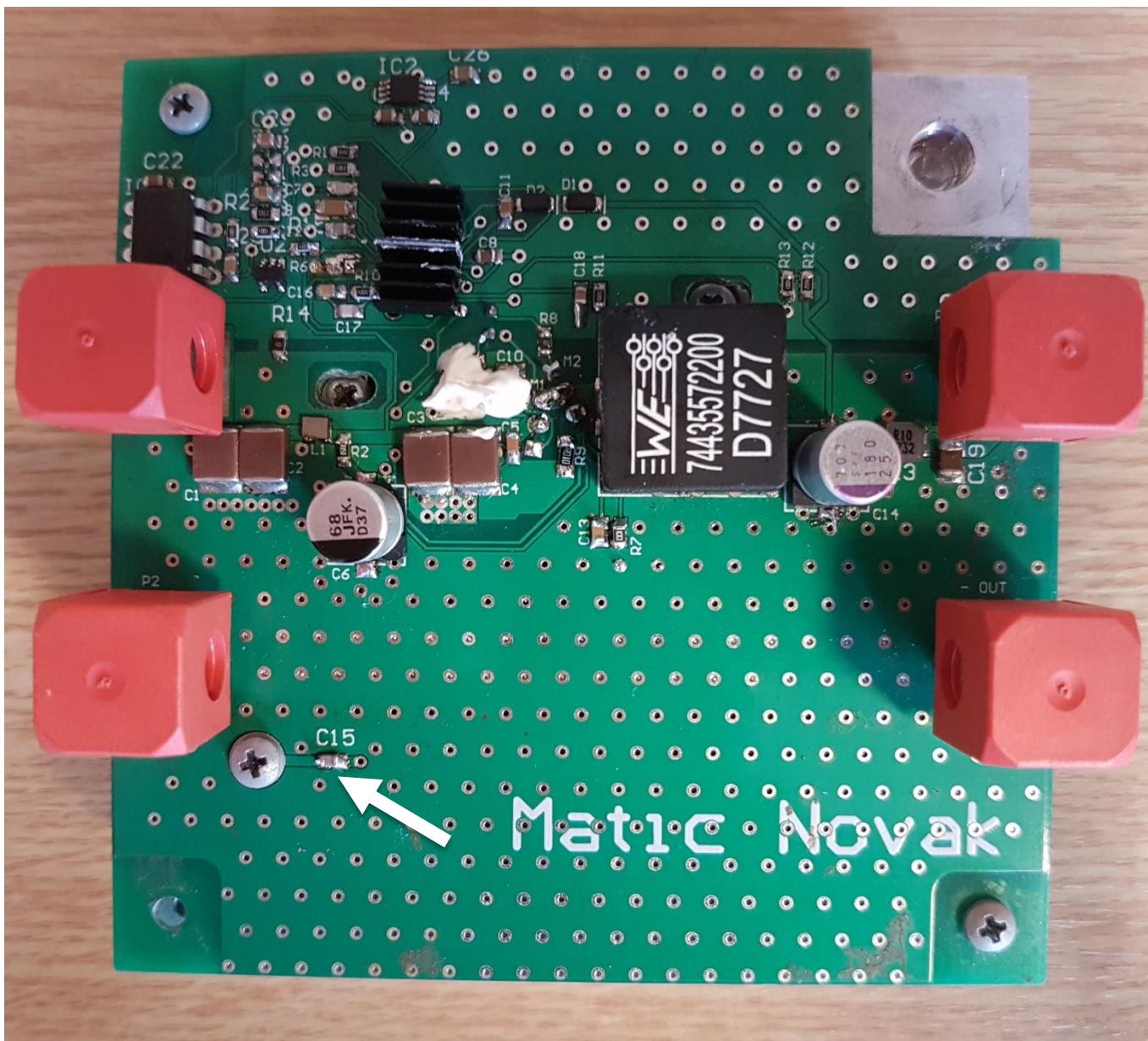
# Matic Novak



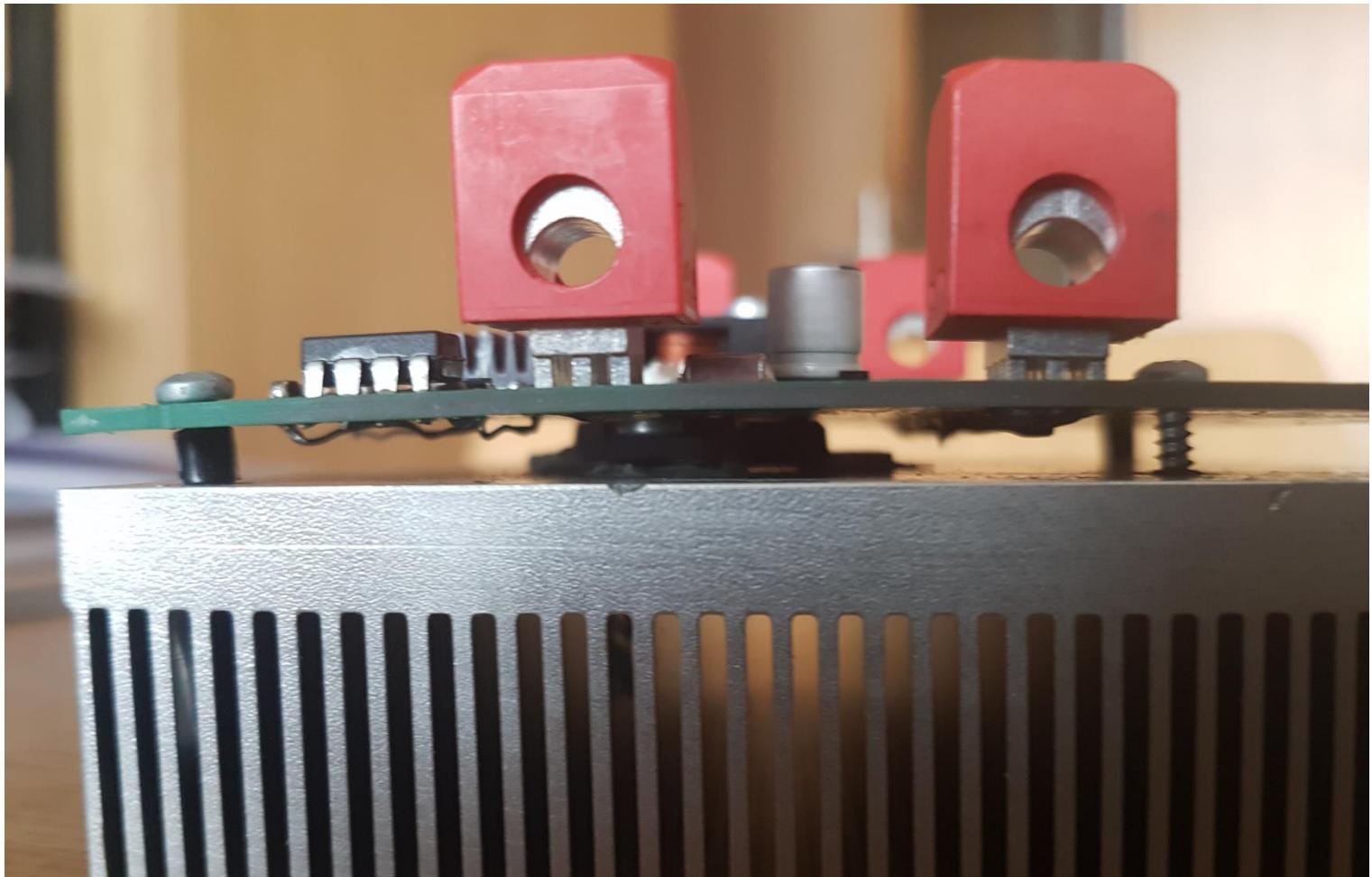
# Matic Nova



# Matic Novak



# Matic Novak



# Matic Novak: Električne meritve

Študent	I	Rb = 10 Ω			Rb = 2 Ω		
		Uvh =	Uvh =	Uvh =	Uvh =	Uvh =	Uvh =
Matic Novak	Ivh [A]	0,616	0,480	0,400	2,840	2,152	1,751
	Iizh [A]	1,393	1,393	1,393	6,605	6,610	6,610
	Uizh [V]	14,04	14,04	14,04	14,00	14,01	14,01

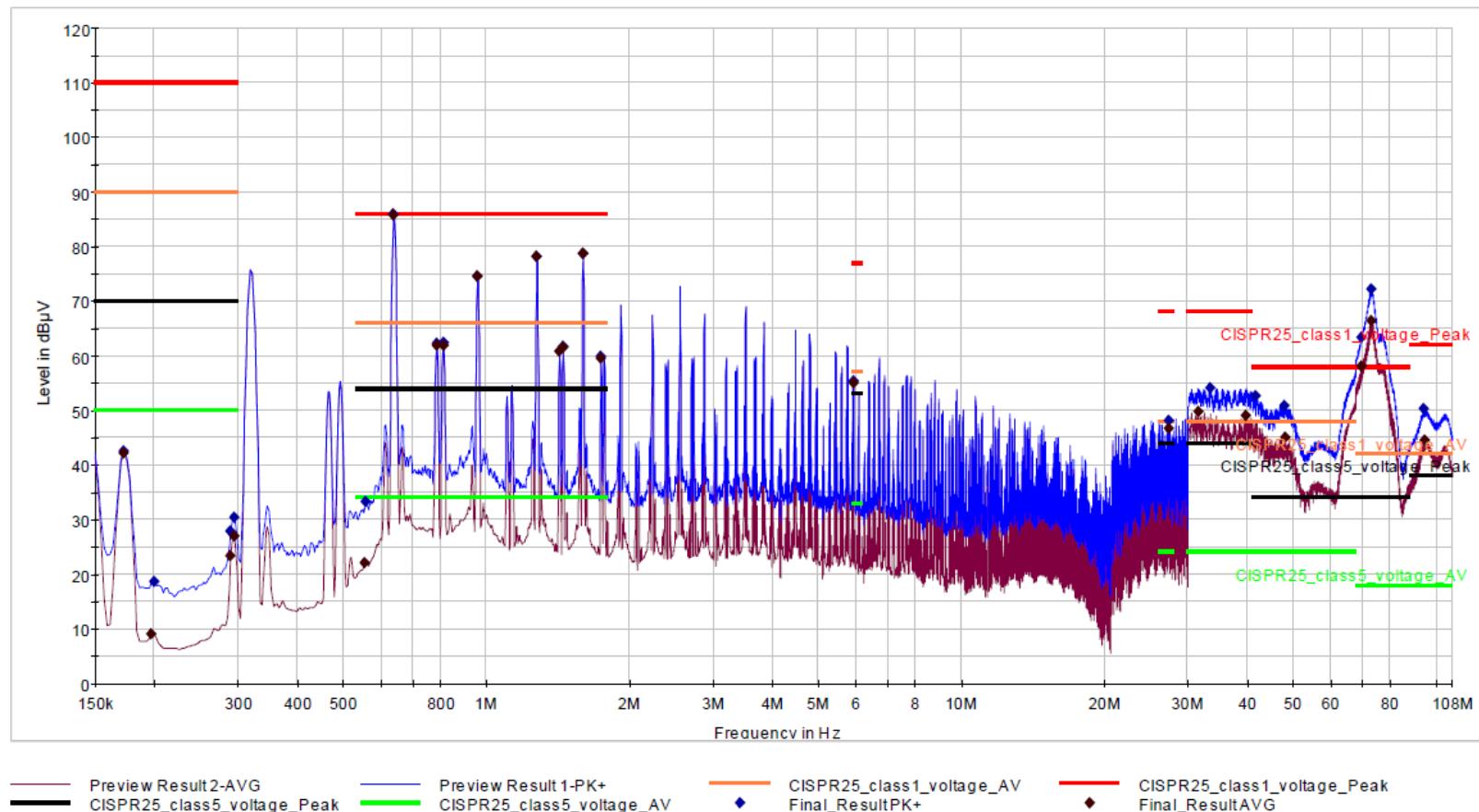
Izkoristek: **90%** (*zahteva nad 75%*)

Valovitost pri osnovni frekvenci: **22 mV** (*zahteva pod 0,2 V*)

Valovitost skupno: **64 mV** (*zahteva pod 0,5 V*)

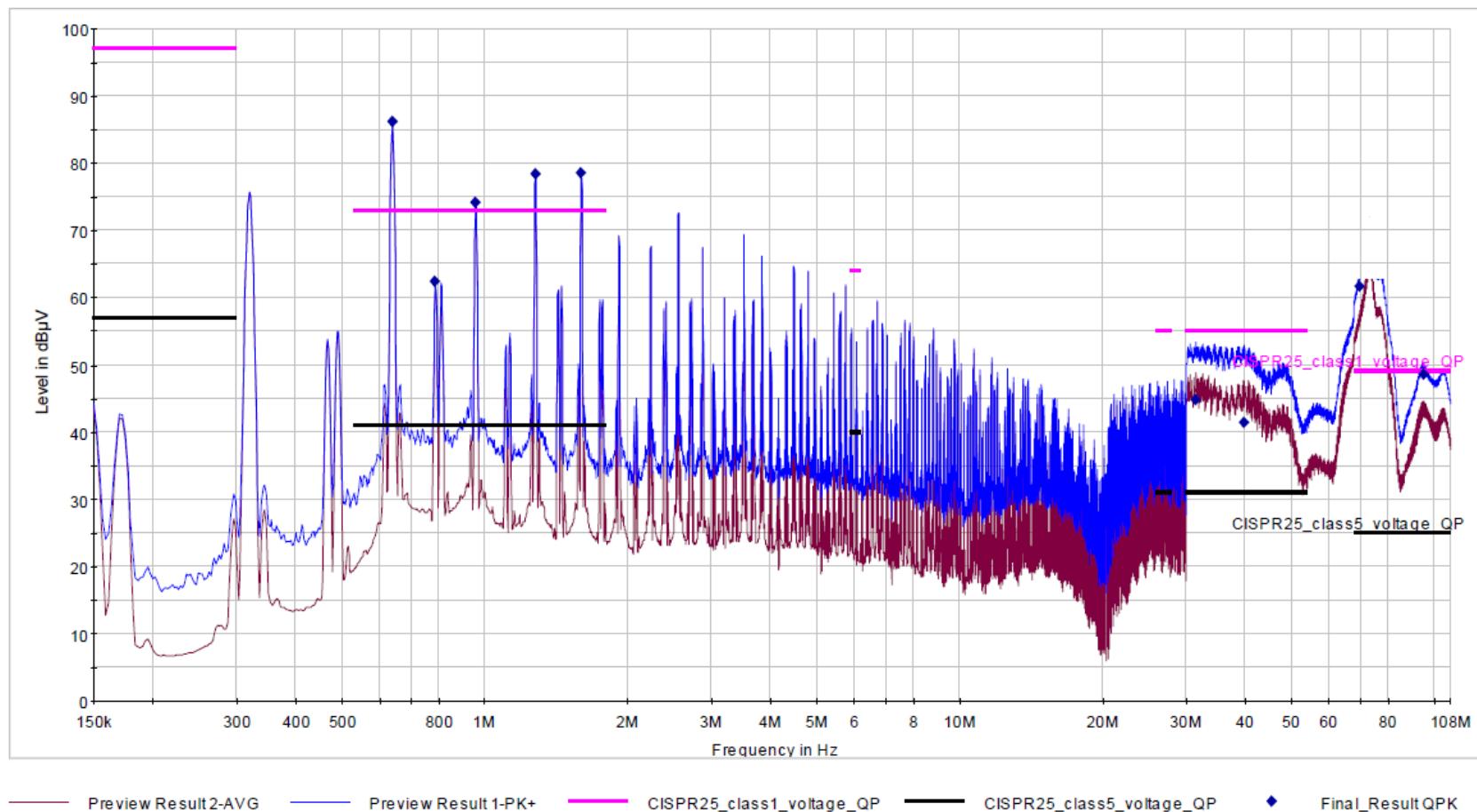
Cena ključnih komponent: **11.82 €**

# Matic Novak: Prevodne motnje PKAV



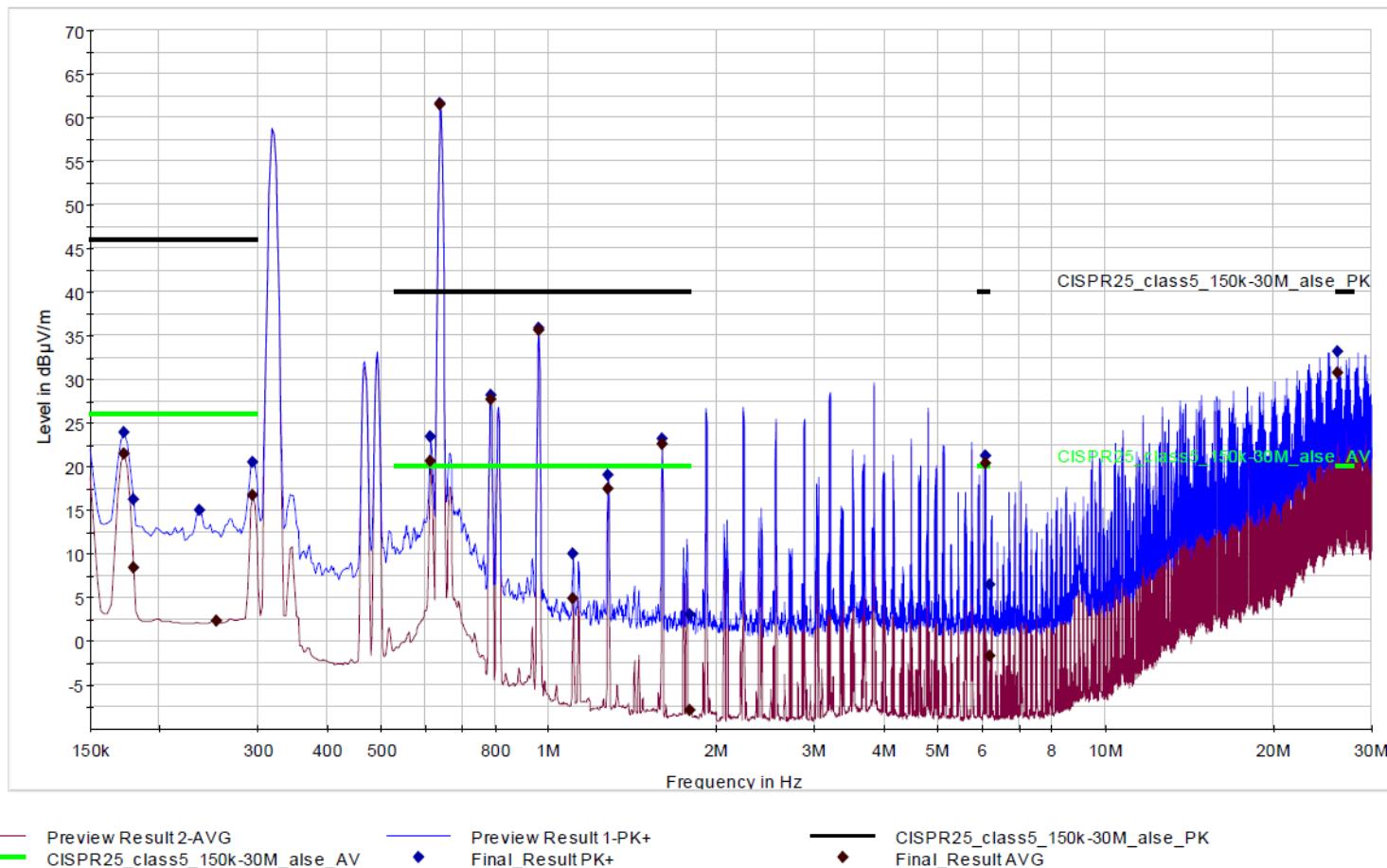
Slika 25: Rezultat na 48V+ priključku s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi

# Matic Novak: Prevodne motnje QP



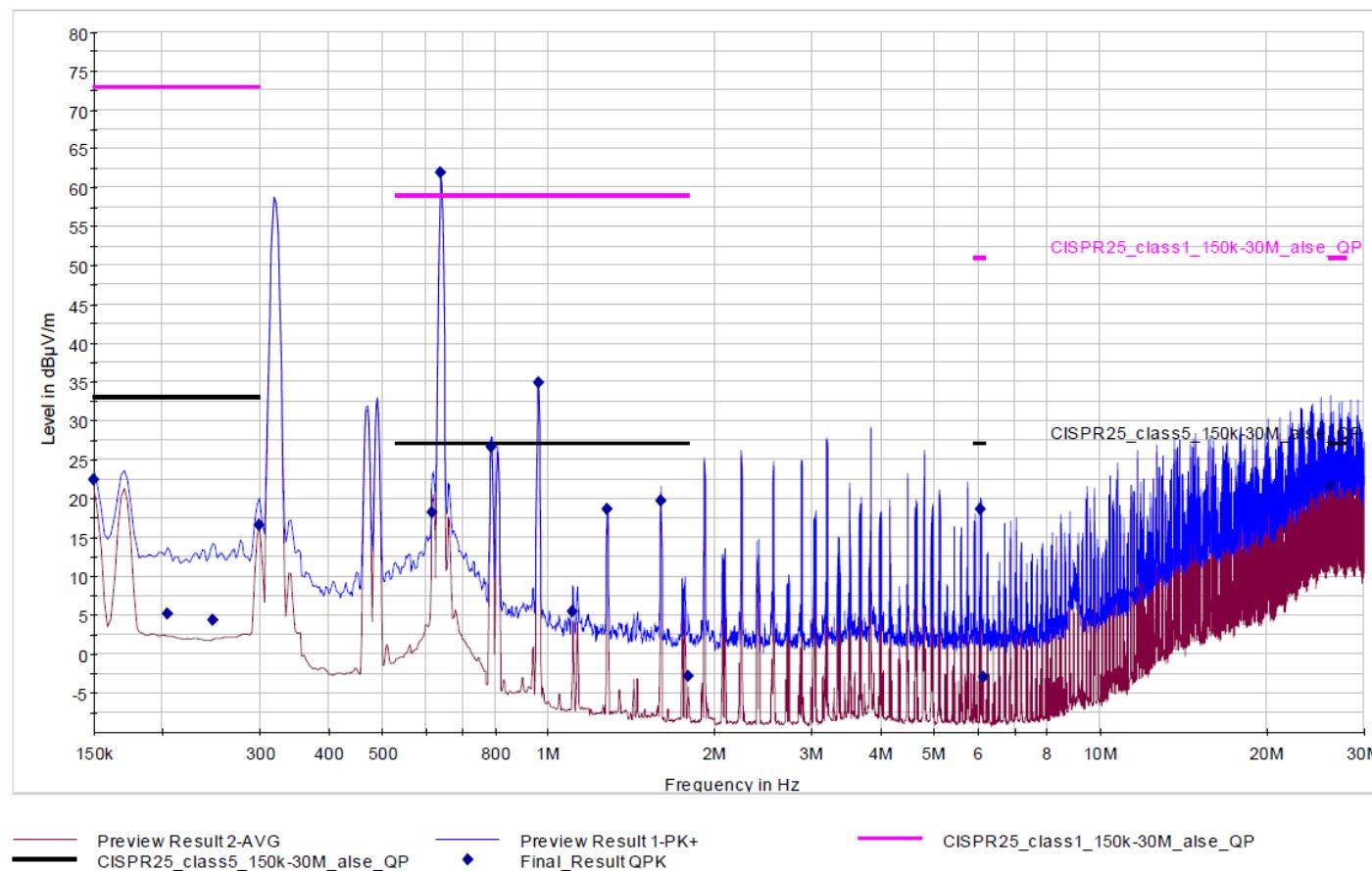
Slika 26: Rezultat na 48V+ priključku s QP detektorjem in razredom 5 mejnimi vrednostmi

# Matic Novak: Sevalne motnje do 30 MHz PKAV



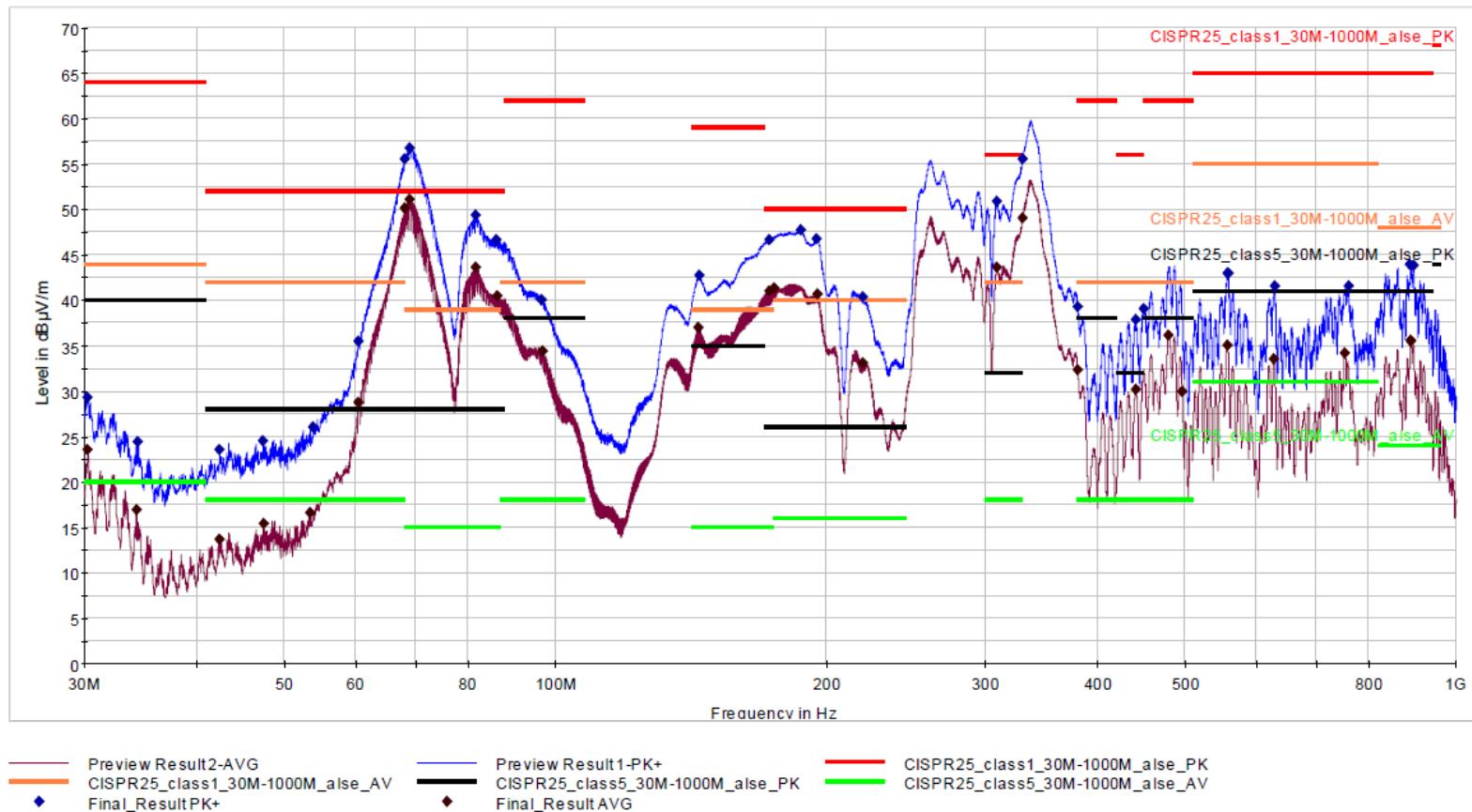
Slika 50: Rezultat s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju  
150 kHz – 30 MHz

# Matic Novak: Sevalne motnje do 30 MHz QP ■



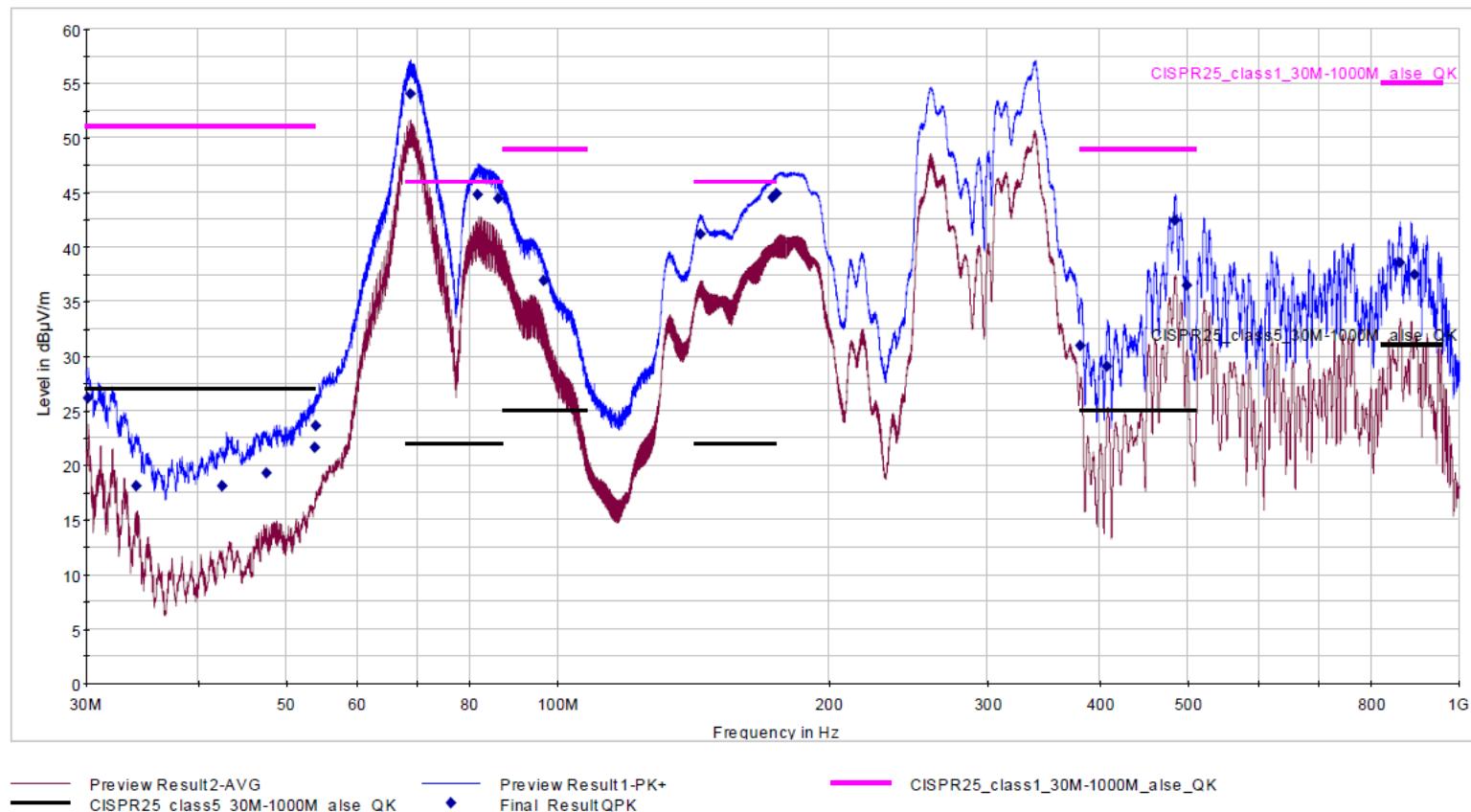
Slika 51: Rezultat s QP detektorjem in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju  
150 kHz – 30 MHz

# Matic Novak: Sevalne motnje do 1 GHz PKAV



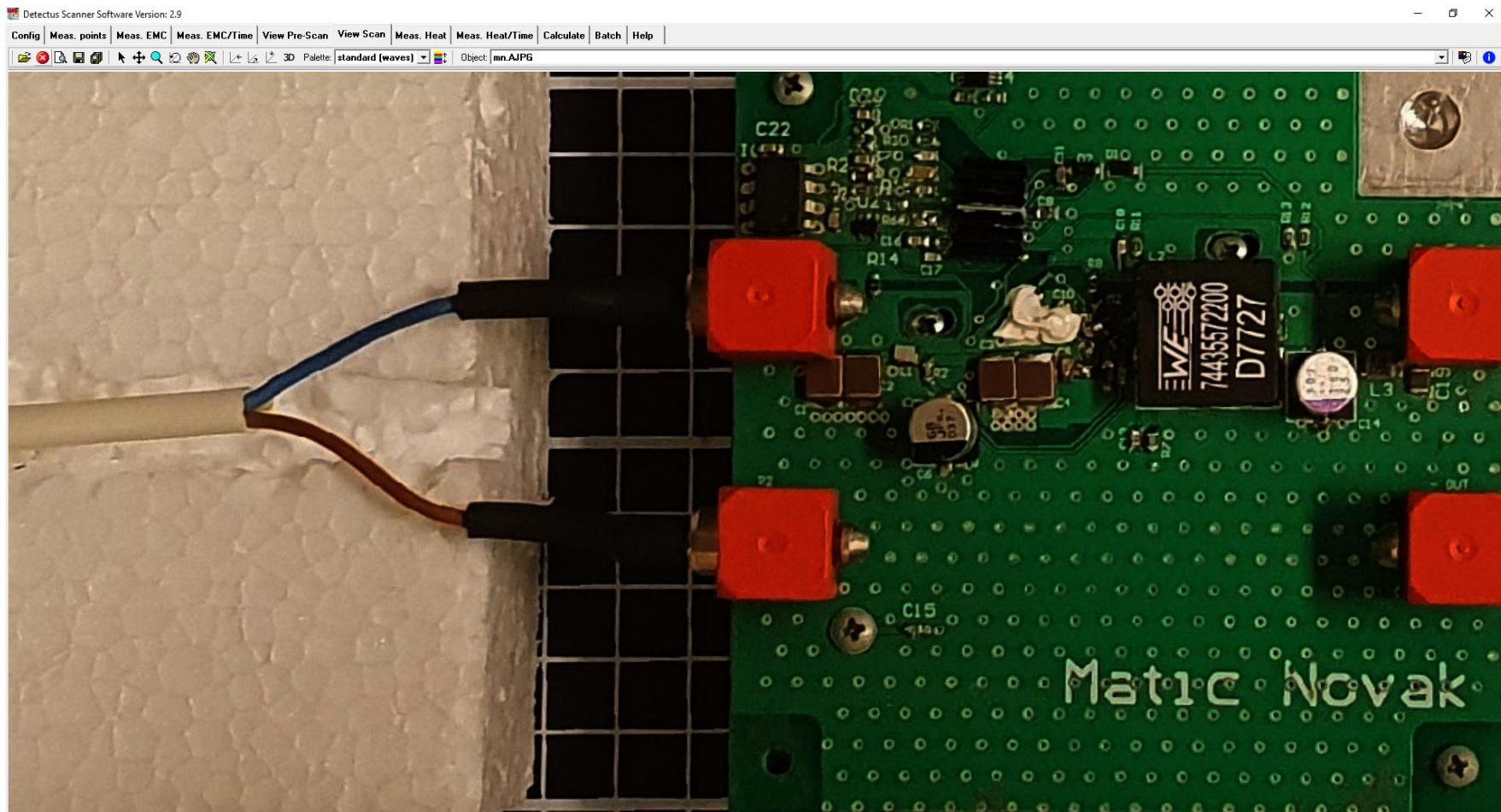
Slika 52: Rezultat s PKAV detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju  
30 MHz – 1000 MHz

# Matic Novak: Sevalne motnje do 1 GHz QP

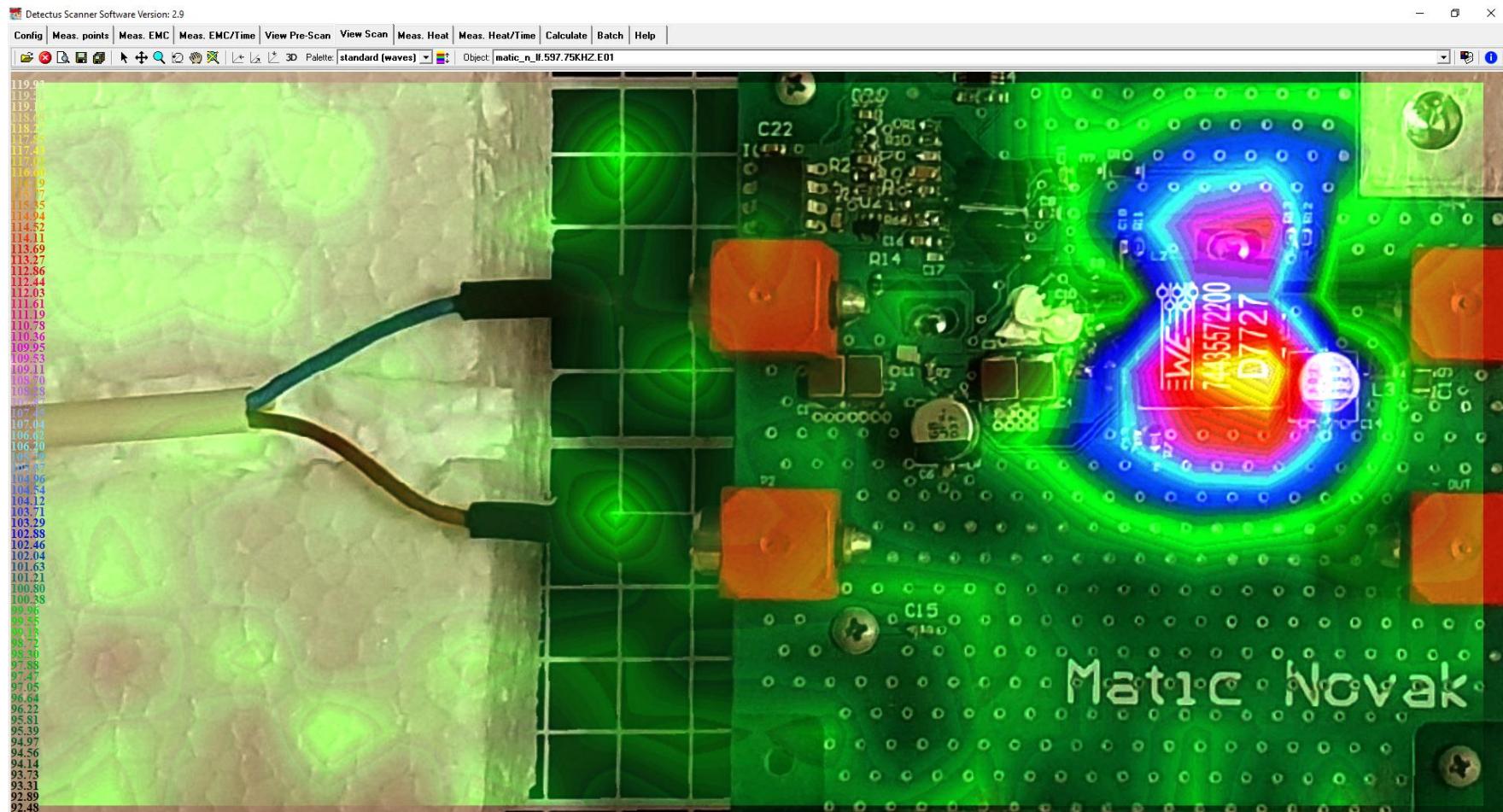


Slika 53: Rezultat s QP detektorji in razredom 5 mejnimi vrednostmi v frekvenčnem področju 30 MHz – 1000 MHz

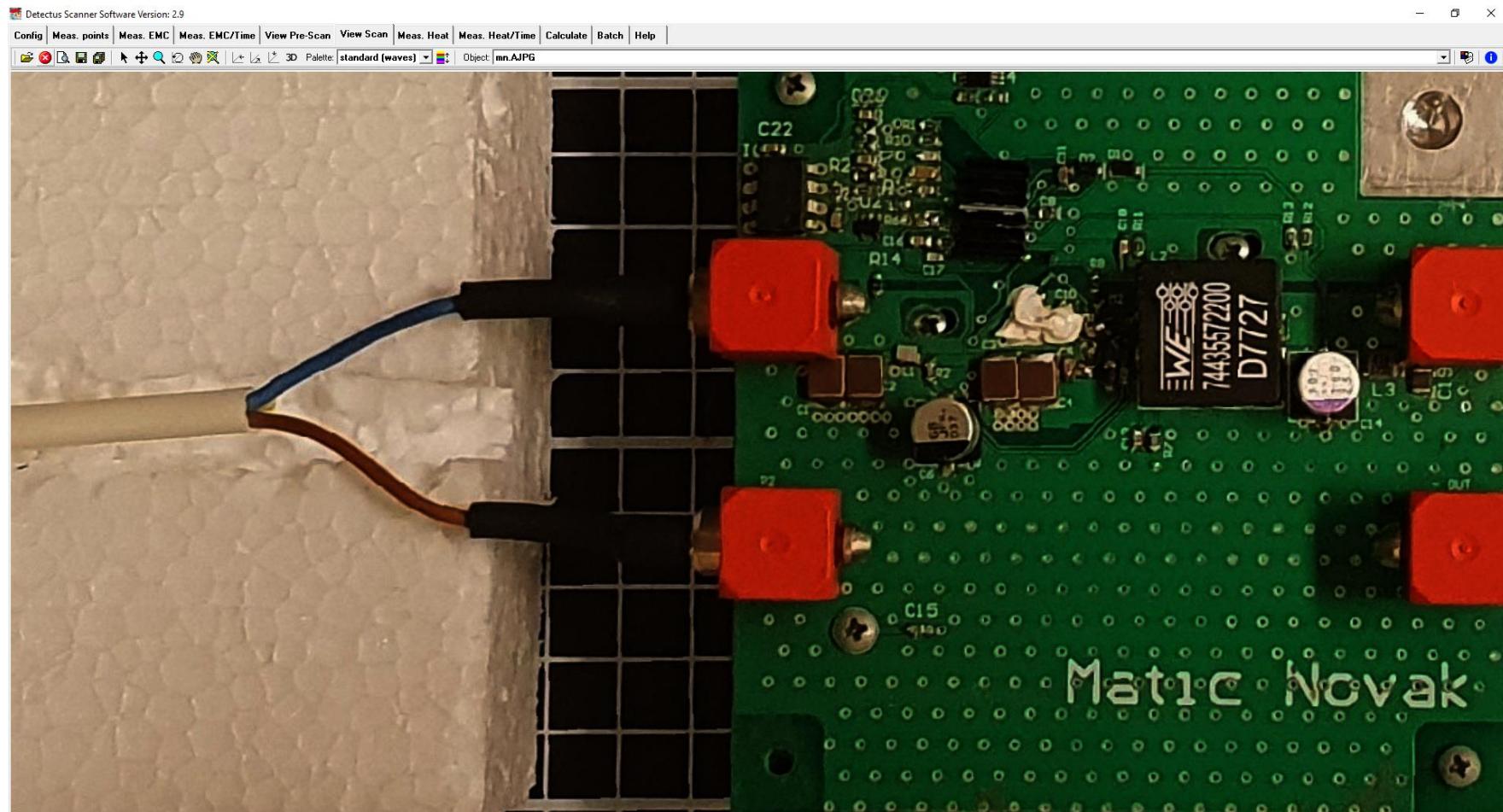
# Matic Novak: detectus



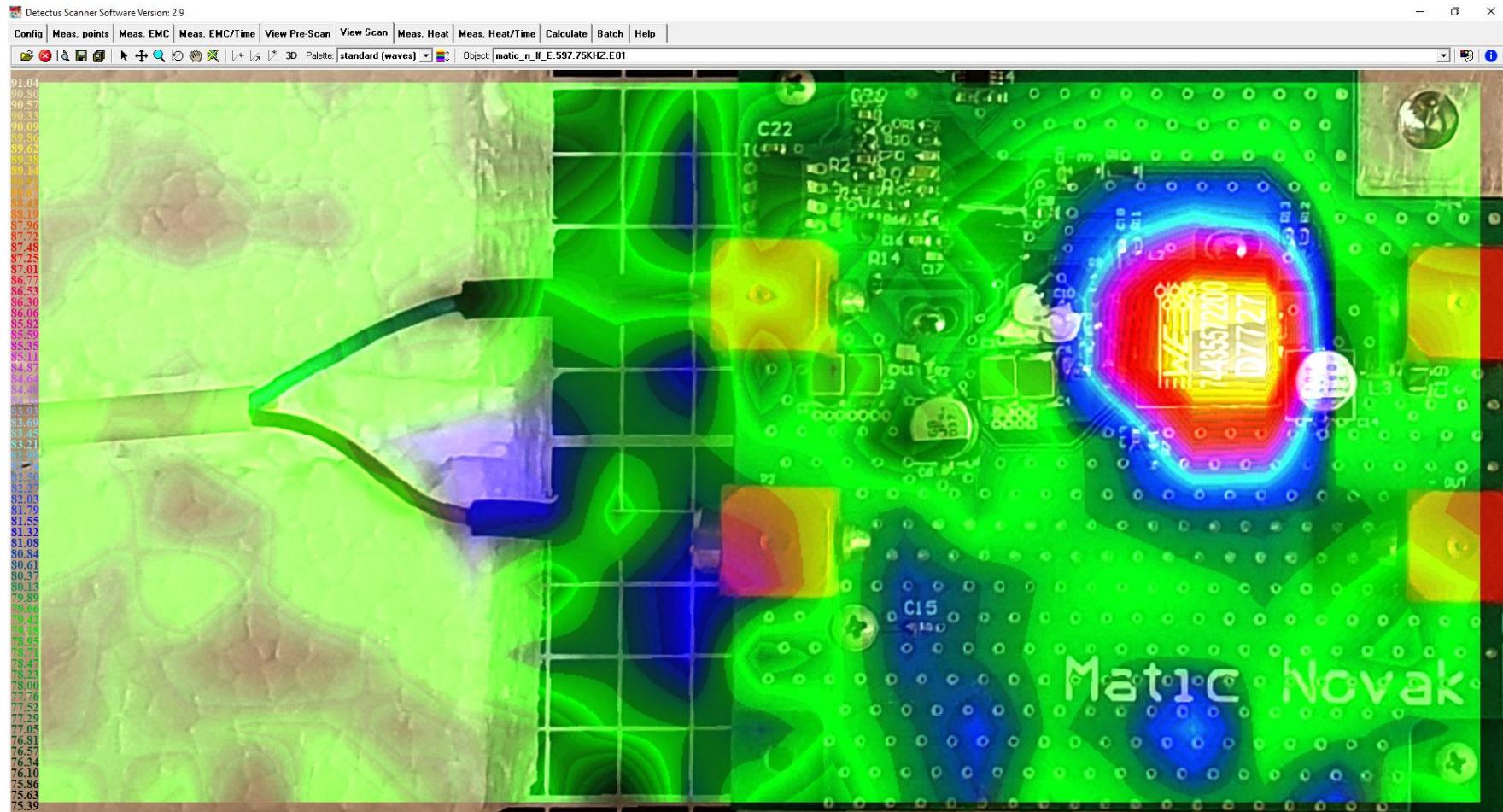
# Matic Novak: magnetno polje 597 kHz



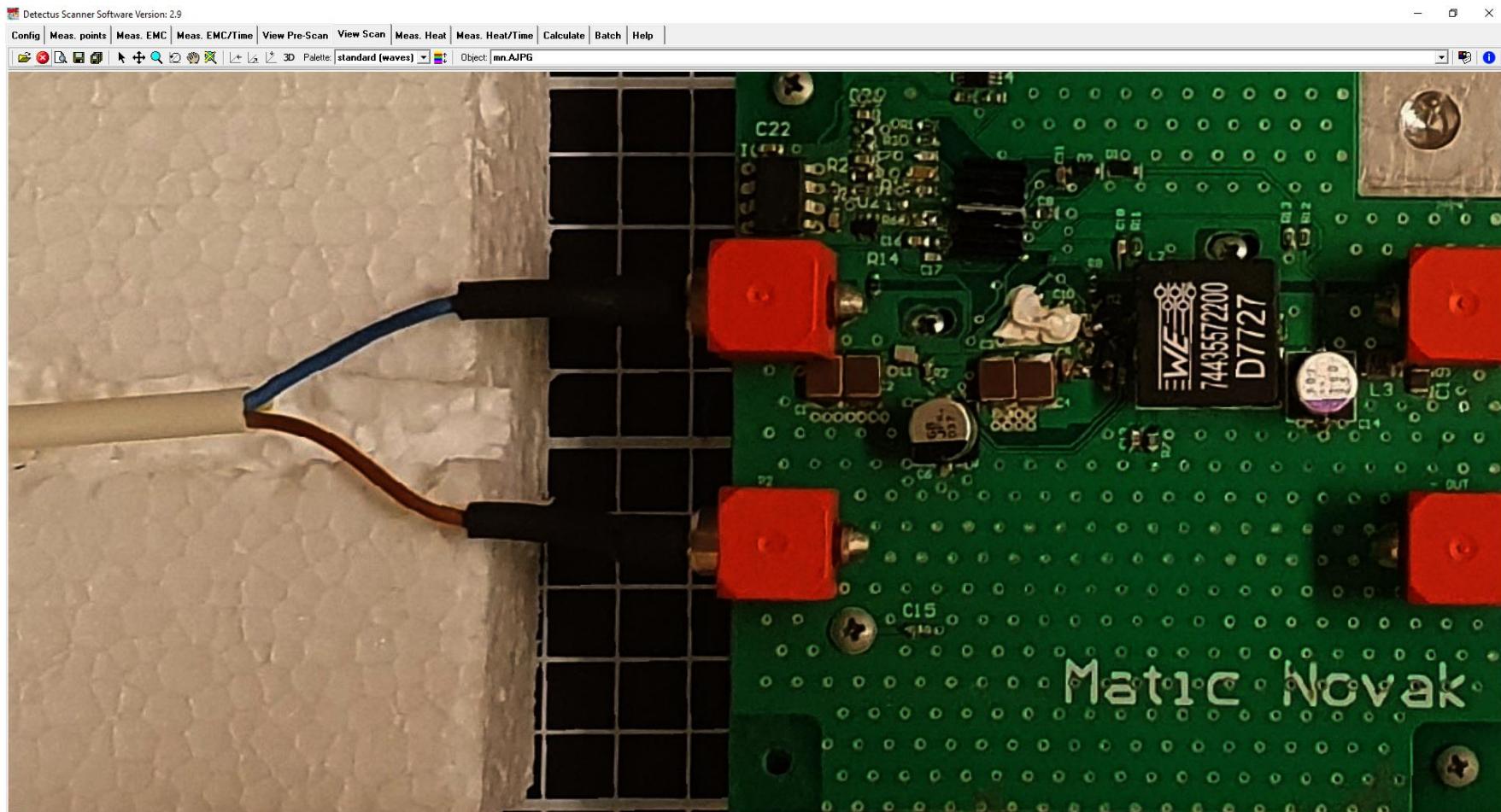
# Matic Novak: detectus



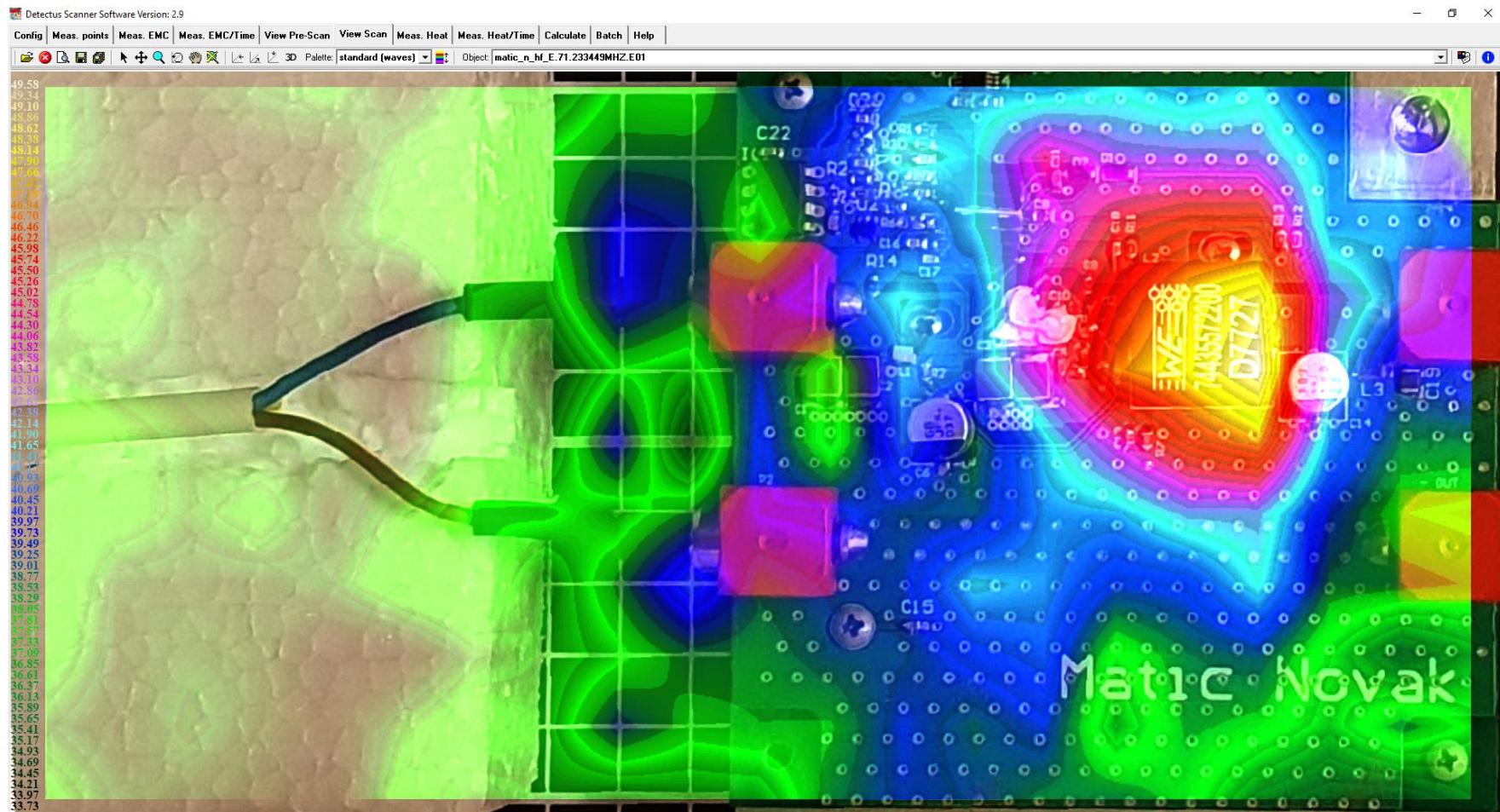
# Matic Novak: električno polje 597 kHz



# Matic Novak: detectus



# Matic Novak: električno polje 71 MHz



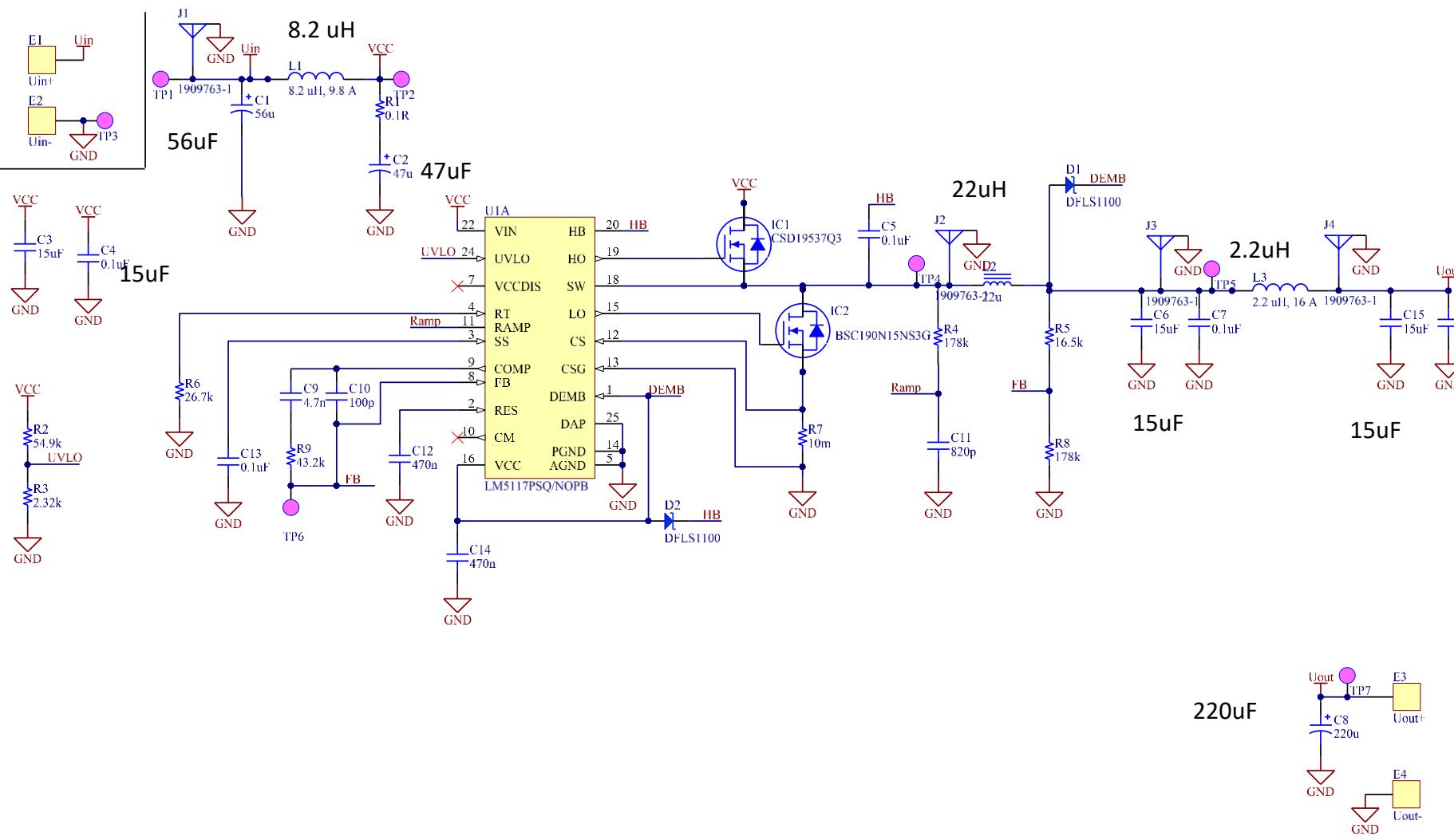
# Matic Novak: točkovanje

Preizkus	Zahtevano	Dosegel	Točke
Funkcionalni  (območje vh. napetosti, nastavljena izh. napetost, valovitost)	Znotraj zahtev	Znotraj zahtev	
Izkoristek	Nad 75 %	90%	15
Prevodne emisije	Nižje od razreda 1	Višje od razreda 1	-24,47
Sevalne emisije	Nižje od razreda 1	Višje od razreda 1	-12,08
Skupaj točk			-11,55

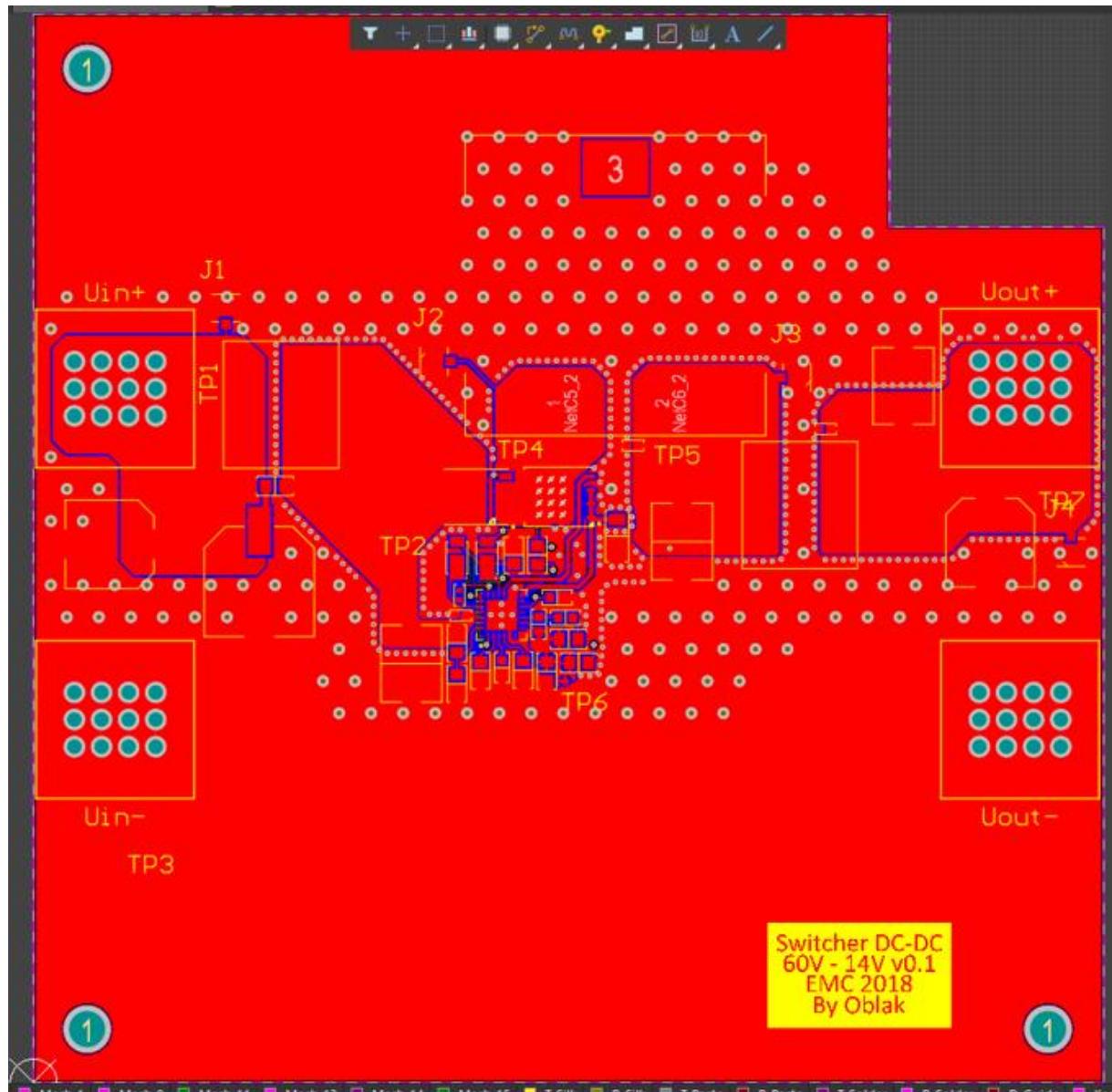
Prevodne emisije: preko razreda 1 limit pri 73,05 MHz za 24,47 dBuV

Sevalne emisije: preko razreda 1 limit pri 68,82 MHz za 12,08 dBuV/m.

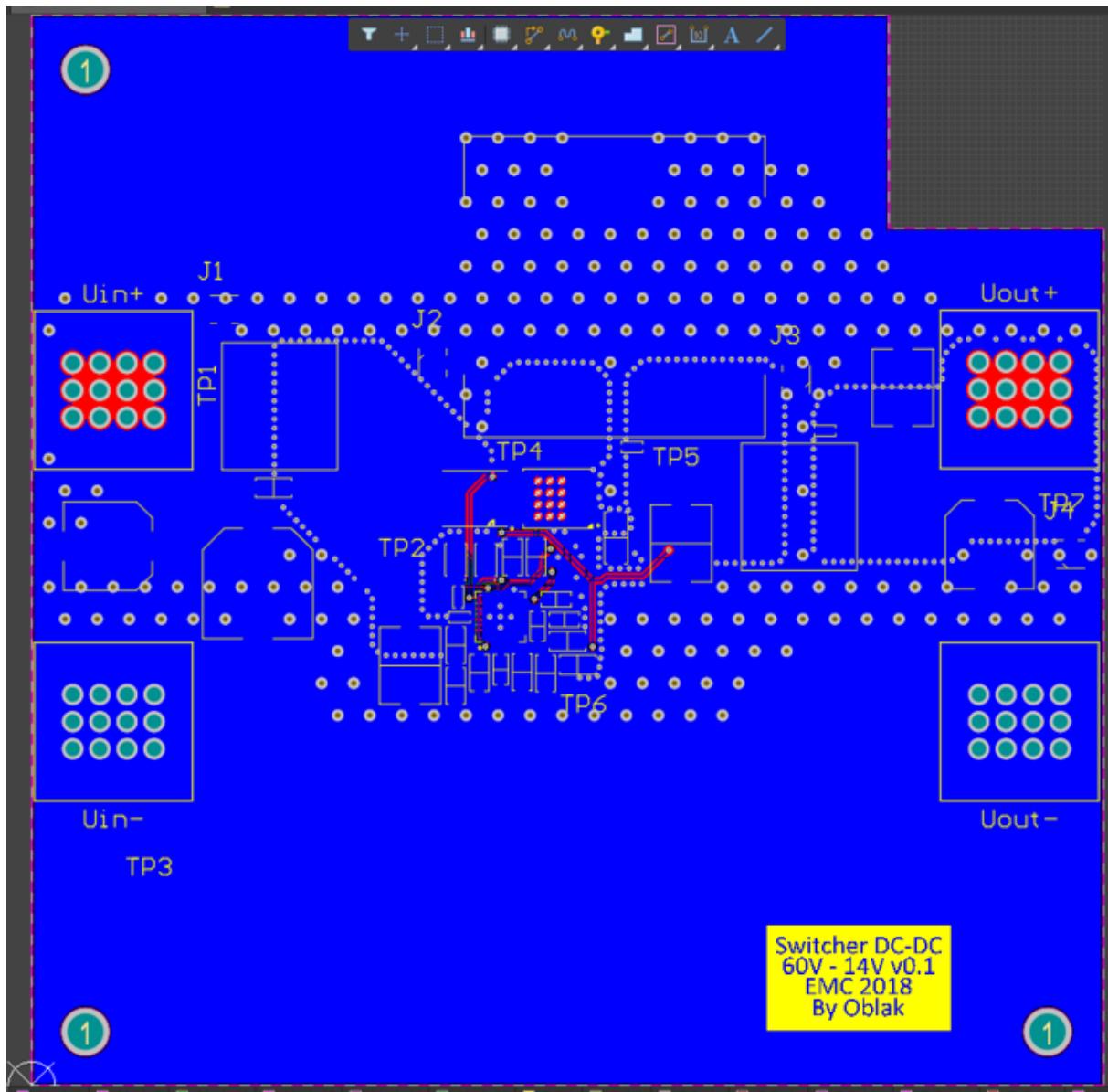
# Vid Oblak



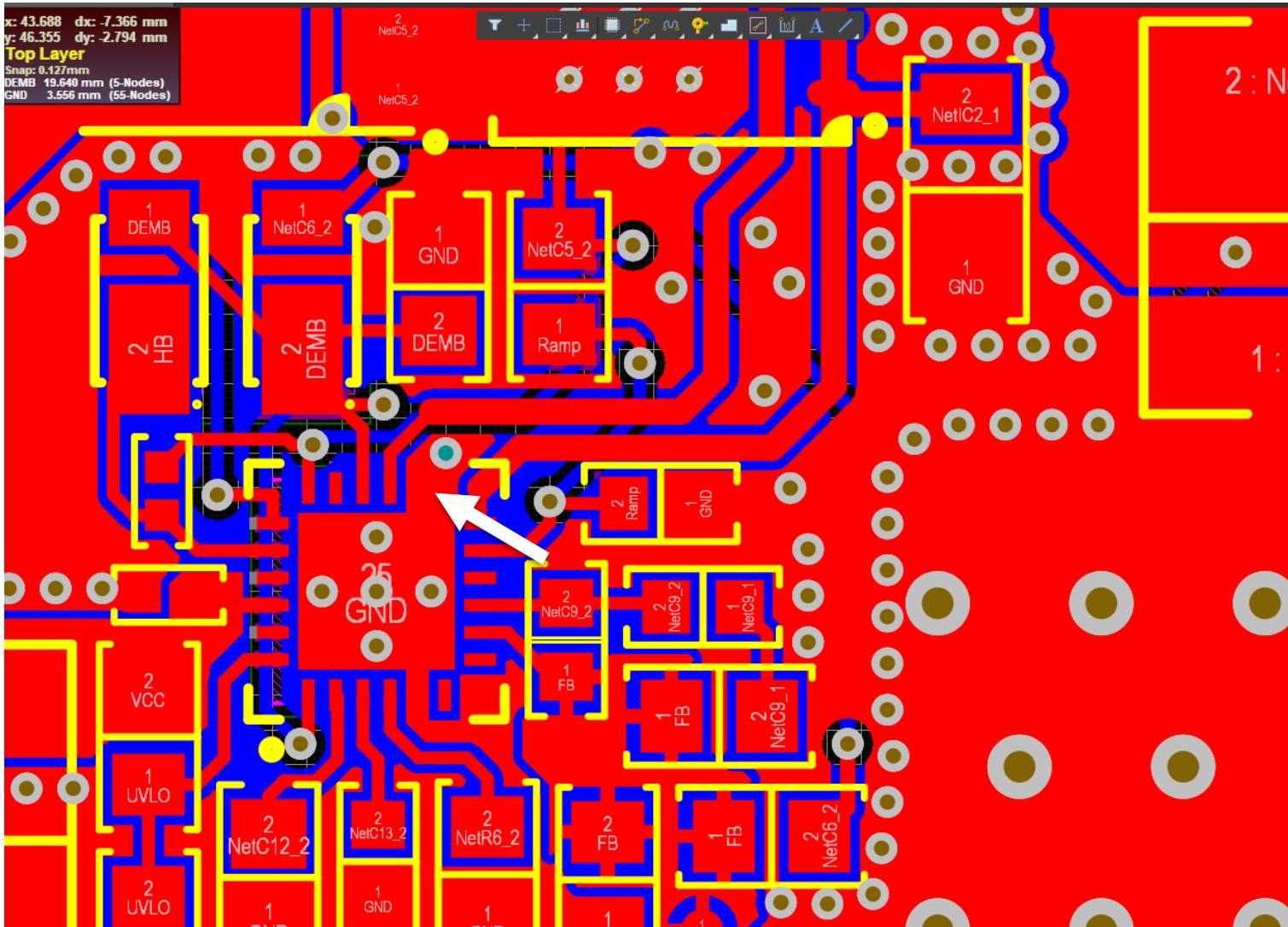
# Vid Oblak



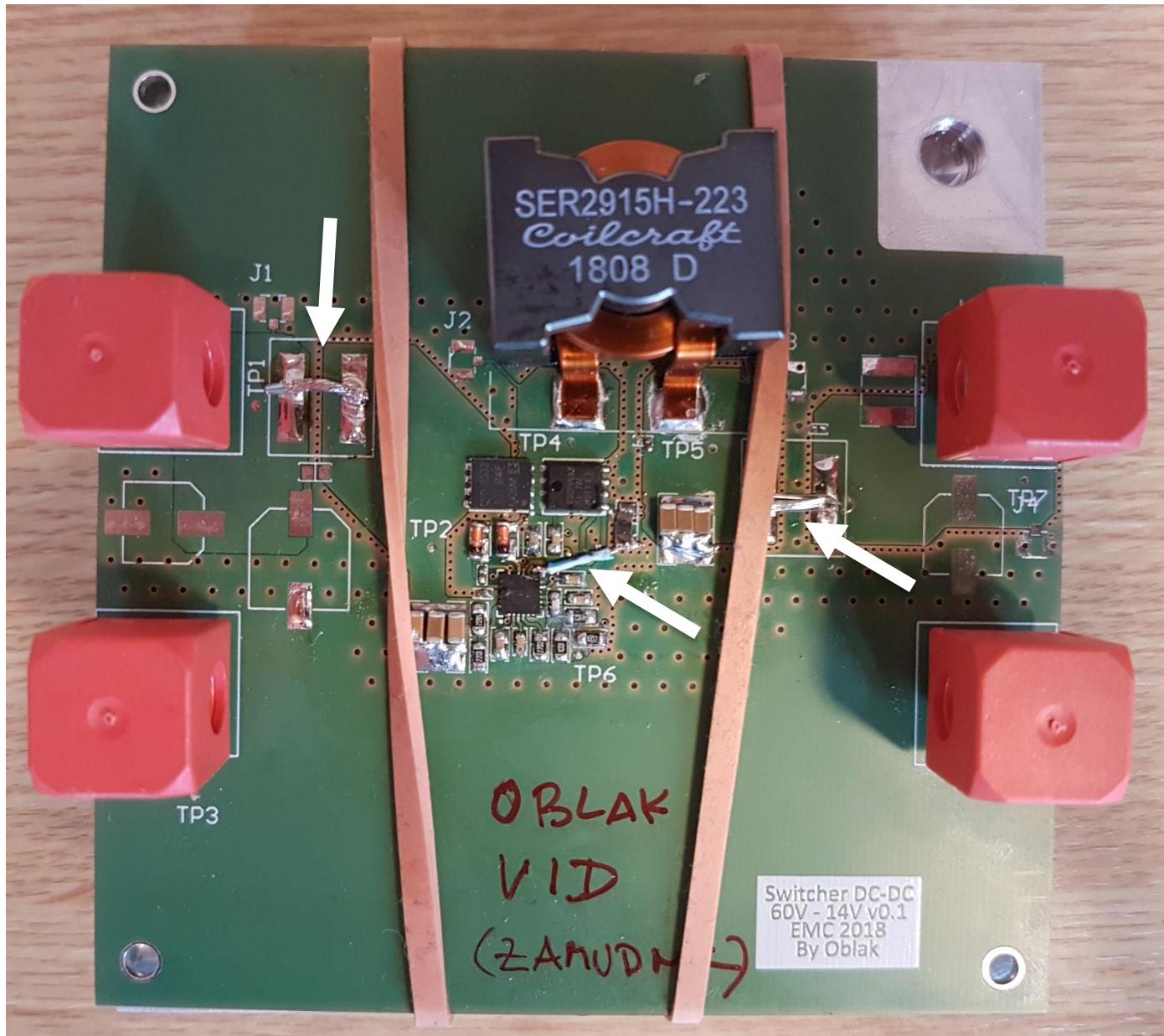
# Vid Oblak



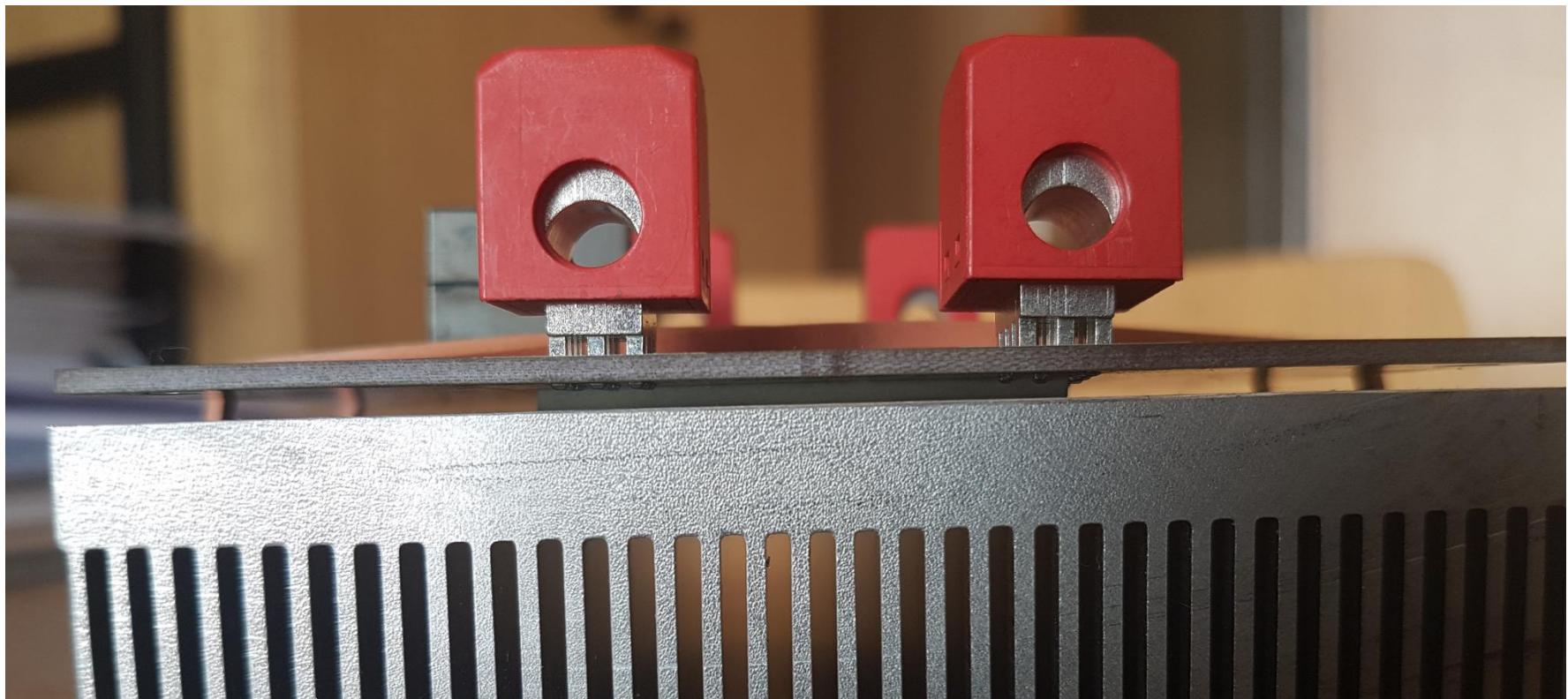
# Vid Oblak



# Vid Oblak



# Vid Oblak



# Vid Oblak: točkovanje

Preizkus	Zahtevano	Dosegel	Točke
Funkcionalni  (območje vh. napetosti, nastavljeni izh. napetost, valovitost)	Znotraj zahtev	NEDELUJOČ	0
Izkoristek	Nad 75 %	/	0
Prevodne emisije	Nižje od razreda 1	/	0
Sevalne emisije	Nižje od razreda 1	/	0
Zamudnik	/	/	-10
Skupaj točk			Diskvalificiran

Cena ključnih komponent: **10.77 €**

# Končni rezultati

Mesto	Tekmovalec	Delovanje	Prevodne EMC	Konduktivne EMC	Cena	Skupaj
1	Matic Novak	25	-24,47	-12,08	-23,64	-35,19
2	Aljaž Kovačič	22	-30,44	-27,83	-33,6	-69,87
3	Jurij Tratar	22	-36,37	-29,49	-28,1	-71,96
4	Jaka Koren	½	-	-	-	-
4	Jure Štojs	½	-	-	-	-
5	Gašper SB	-	-	-	-	-
5	Marko Pavlovič	-	-	-	-	-
5	Vid Oblak	-	-	-	-	-

# Nagrade

## Nagrade za prve tri študente

- MAHLE Electric Drives Slovenija

› Elektromaterial po izbiri s Farnella v vrednosti 200 €

- Hella Saturnus

› Elektromaterial po izbiri s Farnella v vrednosti 200 €

- Amiteh

› Keysight multimeter v vrednosti 200 €

## Tolažilne nagrade

- HT-Eurep

› 2x demo board za GPS, LTE+GNSS, proizvajalca Neoway.

- Texas instruments:

› [5x EZ430-CHRONOS-868](#) razvojno orodje - brezžična pametna ura.

# Načrtovanje elektronike za EMC



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko  
Katedra za elektroniko



Laboratorij za fotovoltaiko  
in optoelektroniko

# MAHLE



Hvala vsem!