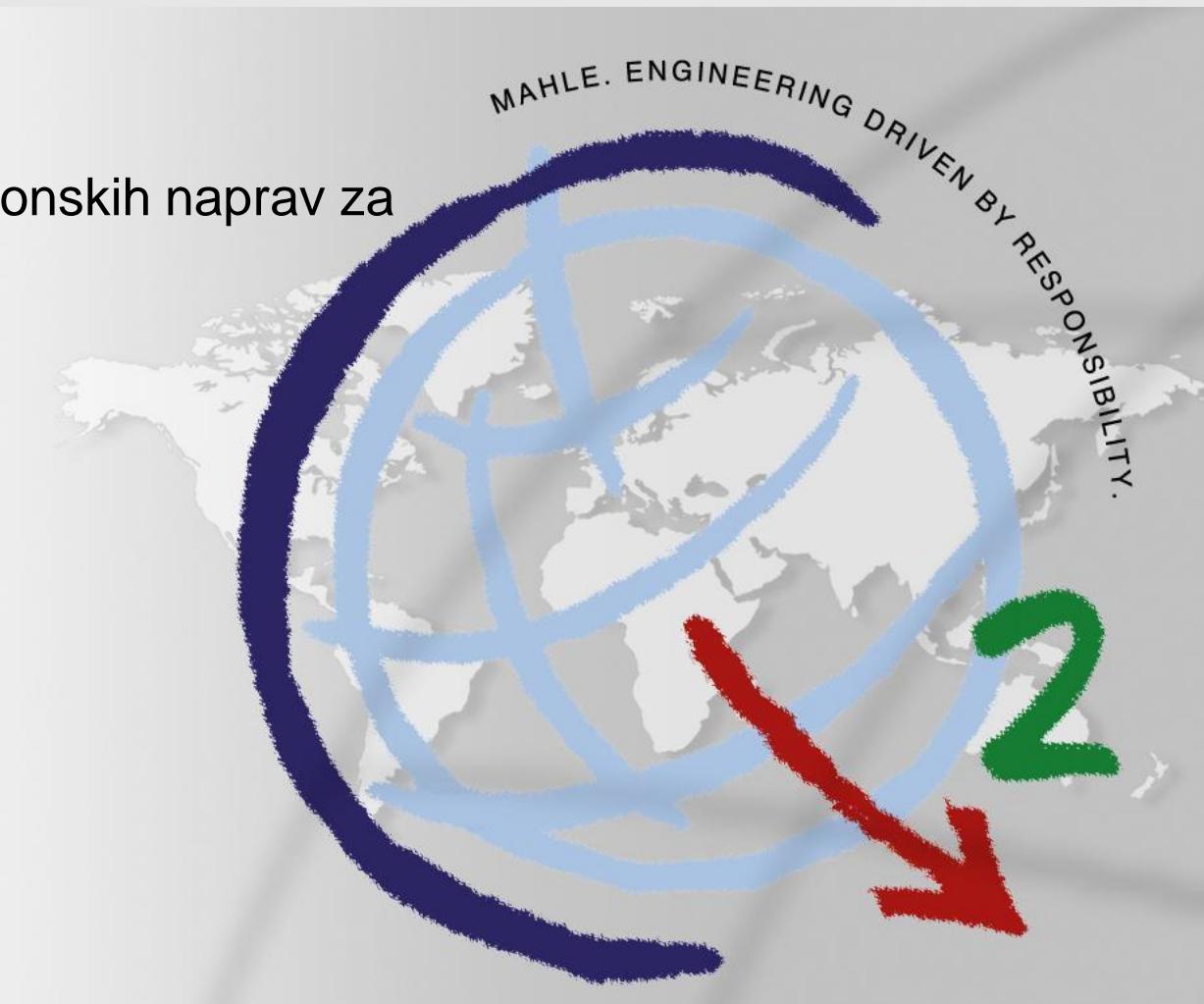


## **MAHLE Letrika d.o.o.**

Simulacije prevodnih emisij elektronskih naprav za  
avtomobilsko industrijo

Gregor Ergaver,  
EMC specialist,  
MAHLE Letrika d.o.o., EMC laboratorij  
Ljubljana, 3. 5. 2017



# Vsebina

- Predstavitev podjetja MAHLE Letrika d.o.o.
- Pregled produktov
- Predstavitev EMC laboratorija podjetja MAHLE Letrika
- EMC simulacije, elektromagnetne prevodne emisije, modeli
- Model EMI sprejemnika
- Praktičen primer – simulacija prevodnih emisij integriranega vezja

# Letrika – član skupine MAHLE

- Od 1. aprila 2015 naprej je Letrika – nov član skupine MAHLE

 **Letrika** 

MORE AT [www.mahle.com](http://www.mahle.com)



- Kdo je MAHLE?

MAHLE Group je vodilno podjetje v proizvodnji delov za motorje z notranjim izgorevanjem, filtracijo, elektroniki/mehatroniki in hlajenju, prezračevanju in klimatizaciji vozil. V letu 2016 je zaposloval **76 000** delavcev na **170** proizvodnjih lokacijah in **15** večjih raziskovalno razvojnih centrih (**6000 inženirjev**) s prodajo **11,5 milijard eurov**.

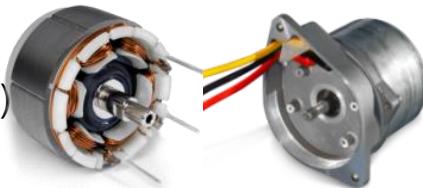
# MAHLE Letrika, Šempeter pri Gorici (Slovenia)



# Produkti

## Mehatronika

- Servo motorji (EPS, EHPS)
- Senzorji
- HVAC ventilatorji
- Električne vodne črpalke
- Aktuatorji za turbopolnilnike (VTG,EWG)



## DC motorji

- Motorji za (hidravlične) črpalke, pogonski motorji,
- Področja vgradnje: industrijske, marinske in viličarske aplikacije
- Območje moči: 0,1-7,6 kW



## Motorji (AC, BLDC), generatorji, elektronika

- Področja vgradnje: viličarji (pogonski motorji, servo motorji), pogoni za klima kompresorje,pogoni za lahka vozila
- Območje moči: 0,1-110 kW



## Zaganjalniki in alternatorji

- Področja vgradnje: kmetijska in gradbena mehanizacija, komercialna vozila
- Območje moči: 0,8-9 kW



# Razvoj



- **Pisarne razvoja:** **1.900 m<sup>2</sup>**
- **Laboratoriji:** **1.650 m<sup>2</sup>**
- **Prototipna delavnica:** **500 m<sup>2</sup>**
  
- **Skupno število inženirjev:** **133**

# Oprema za preizkušanje

## Okoljski preizkusi

- Temperaturne komore,  
šok komore
- Vlažne komore
- Slana mebla, prah in blato



## EMC preizkusi

- Pol-neodbojna EMC soba
- Zaslonjena EMC soba
- Industrijsko in avtomobilsko testiranje



## Hrup, vibracije in vzdržljivost

- Gluha komora
- Stresalnik LDS V875
- Hitra kamera IDT Redlake



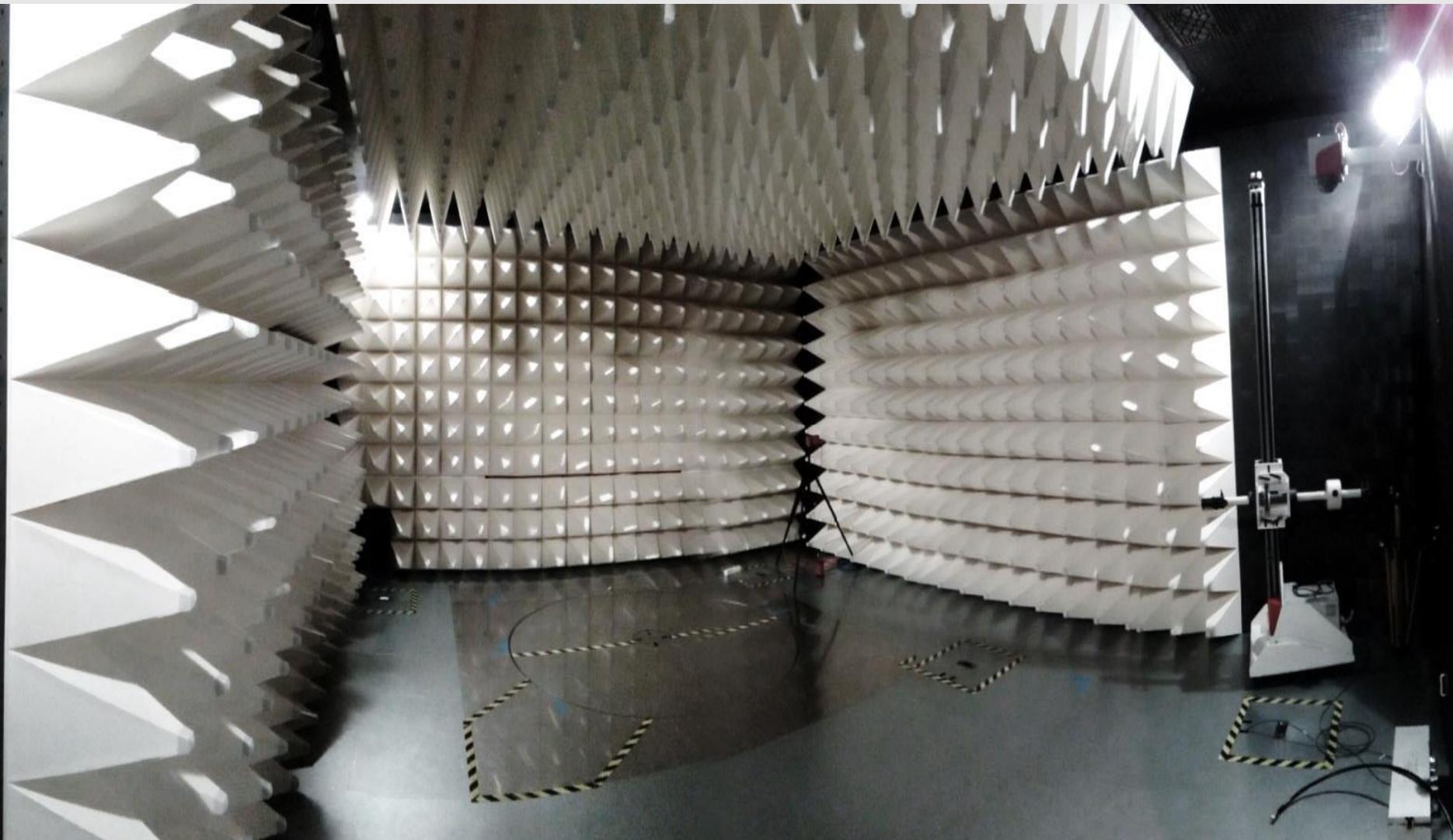
## EMC laboratorij

- EMC sobe: pol-neodbojna (zgrajena leta 2012), zaslonjena soba (zgrajena leta 2015)
  - Industrijsko, komercialno merjenje emisij in testiranje imunosti (EN61000-6-X, EN12895, itd.)
  - EMC testiranja za avtomobilsko industrijo: (MB, VW, BMW, Renault, itd.)
- 
- Meritve elektromagnetnih emisij:
    - Prevodne – napetost na LISN vezju [dB $\mu$ V],
    - Prevodne – napetost na KSK [dB $\mu$ V],
    - Sevalne – z antenami (palična, logaritemska, „rog“) (9 kHz - 6 GHz) [dB $\mu$ V/m],
    - Prevodne – z RF tokovnimi kleščami (do 500 MHz) [dB $\mu$ A],
    - Prevodne – napetostni prehodni pojavi pri vklopu ali izklopu produkta [V]
  - Preizkušanje imunosti :
    - Prevodna – Injiciranje toka v ožičenje (BCI),
      - RF injicirne tokovne klešče - do 500 W CW, 10 kHz - 400 MHz [dB $\mu$ A, mA],
    - Sevalna – z antenami (logaritemska, „rog“) (ALSE),
      - do 200 V/m, 200 MHz – 8 GHz [V/m],
    - Prehodni pojavi na napajanju (TSUP) [V],
    - Prehodni pojavi na signalno/podatkovnem ožičenju (TOL) [V, A],
    - Elektrostatične razelektritve (ESD) [V]
      - Rokovanje do 30 kV,
      - Med delovanjem do 30 kV,
      - RC elementi [150pF ali 330 pF, 330Ω ali 2kΩ]

**MAHLE**

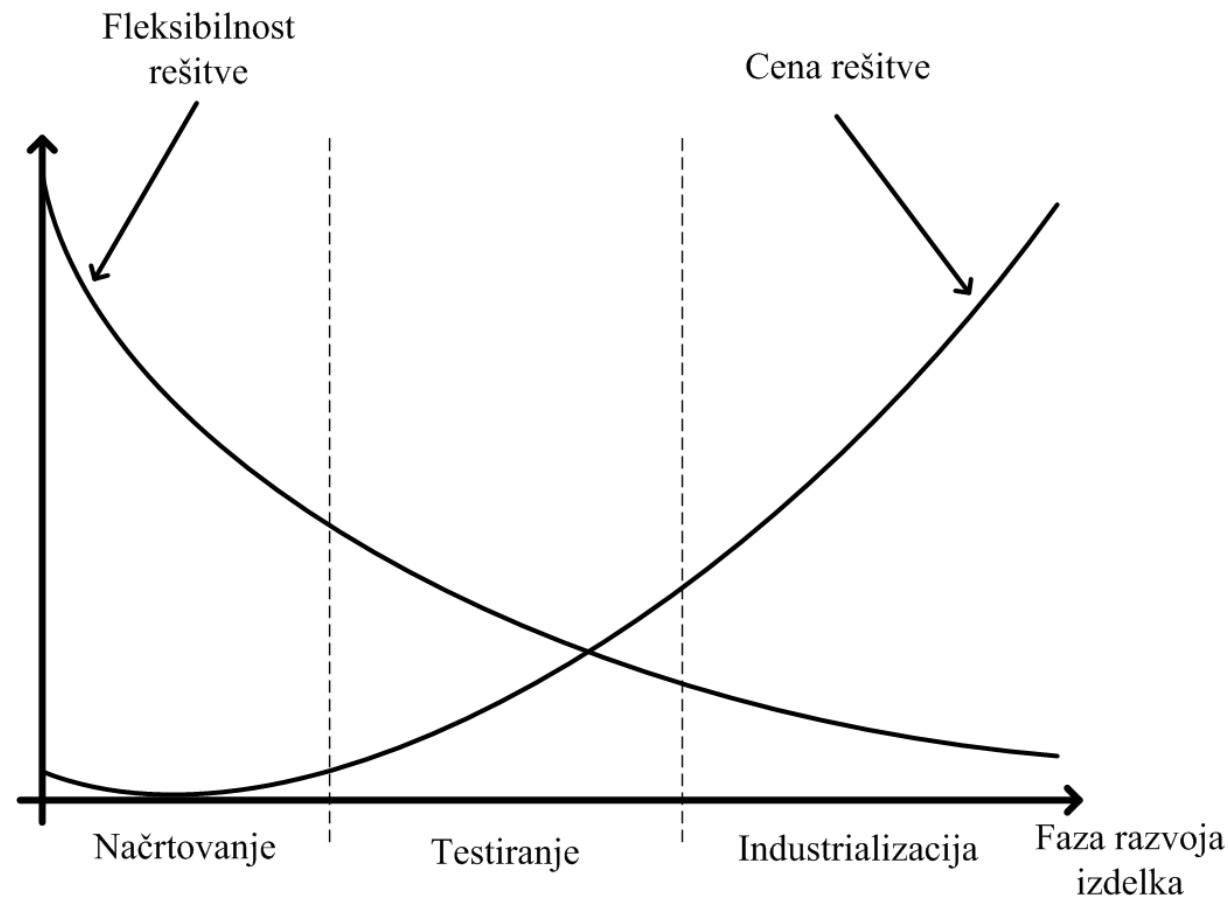
*Driven by performance*

## EMC laboratorij



# Simulacije

## ■ **Zakaj simulirati?**



## EMC simulacije

- **Zakaj simulirati?**
- **Klasično reševanje EMC problemov:**
  - Meritev – v redu, ni v redu
  - Če ni v redu:
    - Nalaganje dodatnih komponent na vezje med EMC meritvami
    - Redesign tiskanega vezja – dolgotrajno
- **Simulacije:**
  - EMC analiza samega koncepta brez realizacije – cost/performance
  - Hitri odgovori kaj bi se zgodilo, če se naredi to ali to ali ono
  - Analiza, kaj povzroča težavo in kako jo elegantno rešiti.
  - Optimizacija rešitve – manjše število komponent -> nižja cena

## EMC simulacije

■ **Enote veličin v EMC meritvah/simulacijah**

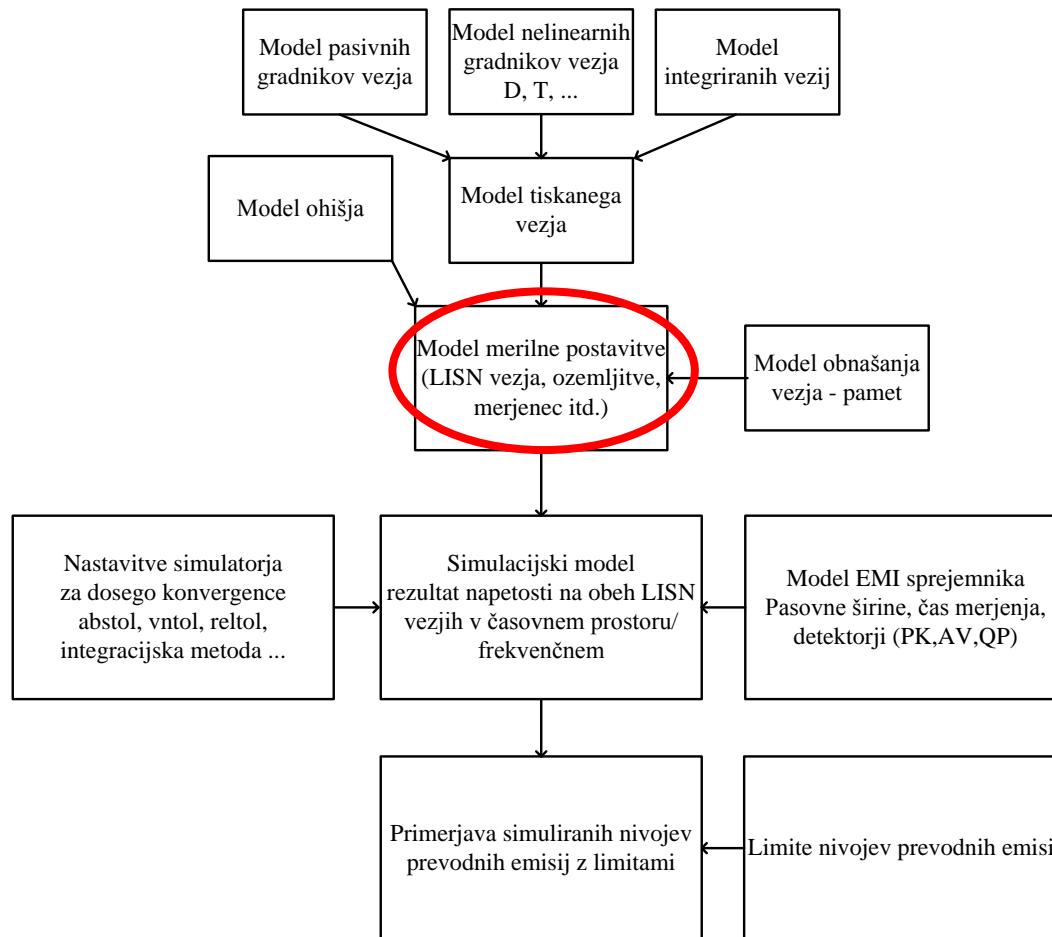
Veličina	Enota	Formula
Napetost	$dB\mu V$	$U[dB\mu V] = 20 \log_{10} \left( \frac{U[V]}{1\mu V} \right)$
Tok	$dB\mu A$	$I[dB\mu A] = 20 \log_{10} \left( \frac{I[A]}{1\mu A} \right)$
Impedanca	$dB\Omega$	$Z[dB\Omega] = 20 \log_{10}(Z[\Omega])$
Moč	$dBm$	$P[dBm] = 10 \log_{10} \left( \frac{P[W]}{1mW} \right)$
Električna poljska jakost	$\frac{dB\mu V}{m}$	$E \left[ \frac{dB\mu V}{m} \right] = 20 \log_{10} \left( \frac{E[V/m]}{1\mu V/m} \right)$
Magnetna poljska jakost	$\frac{dB\mu A}{m}$	$H \left[ \frac{dB\mu A}{m} \right] = 20 \log_{10} \left( \frac{H[A/m]}{1\mu A/m} \right)$

**In podobne enote veličin ...**

Poleg tega še, frekvenca [Hz], čas [s],

## EMC simulacije

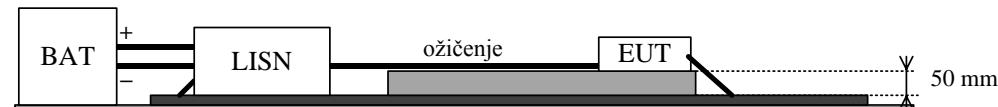
### **Osnovni model/algoritem simulacije prevodnih emisij – napetosti na LISN vezjih**



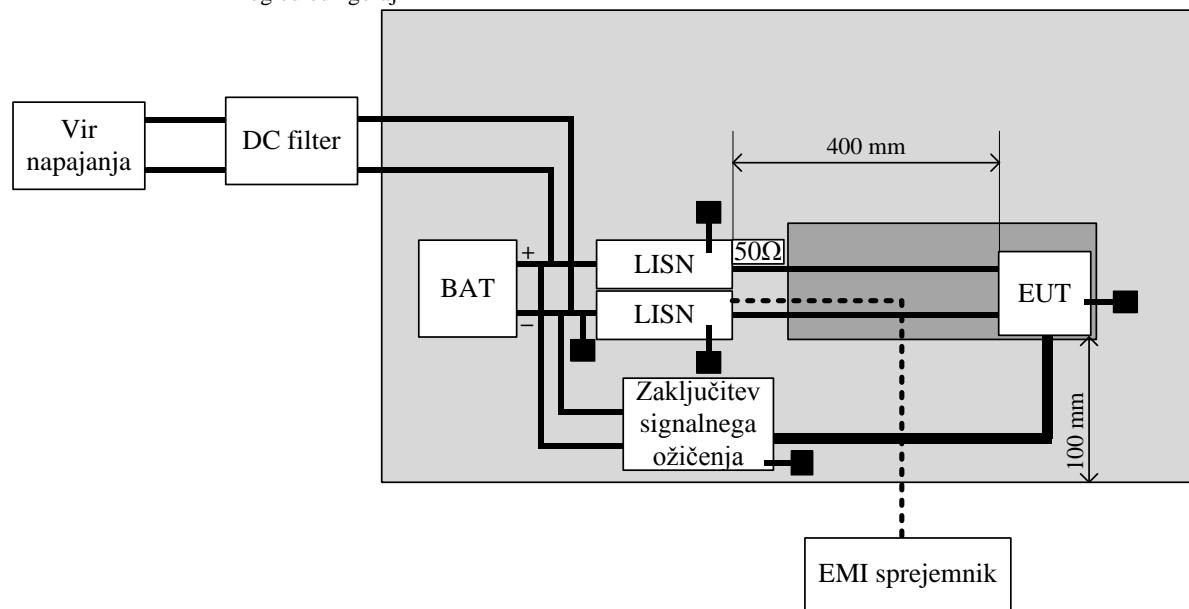
## EMC simulacije

### **Model merilne postavitve za merjenje elektromagnetnih prevodnih emisij elektronike za avtomobilsko industrijo - CISPR25 ali EN55025**

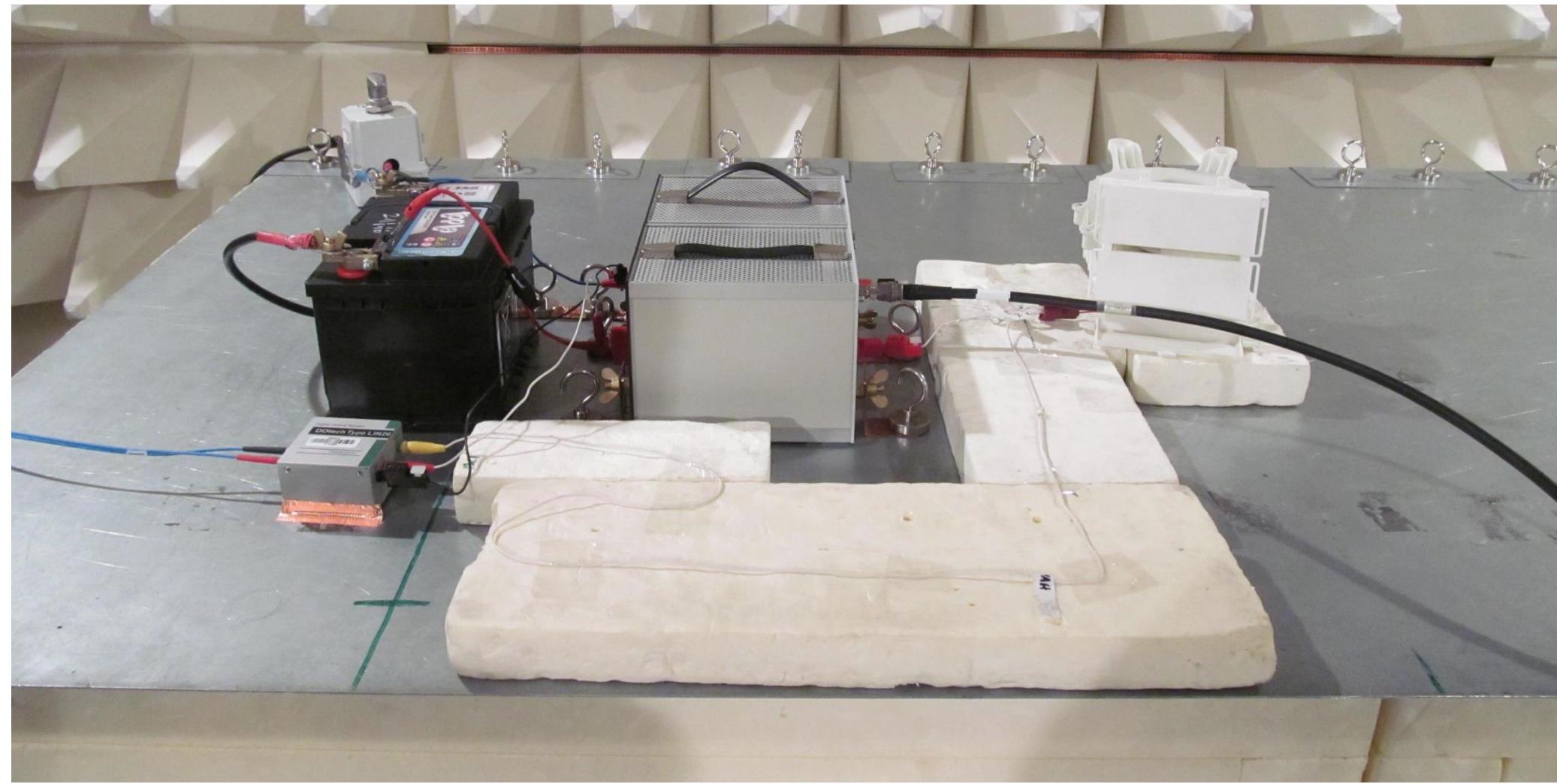
Pogled s strani



Pogled od zgoraj

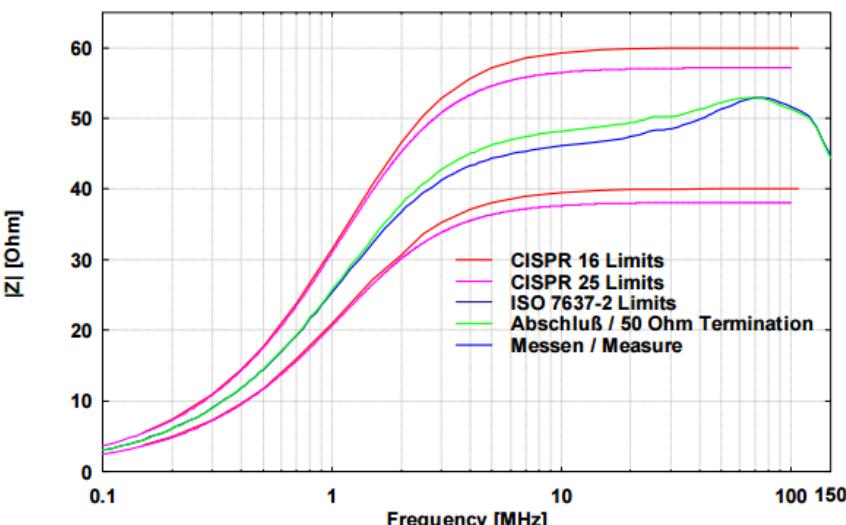
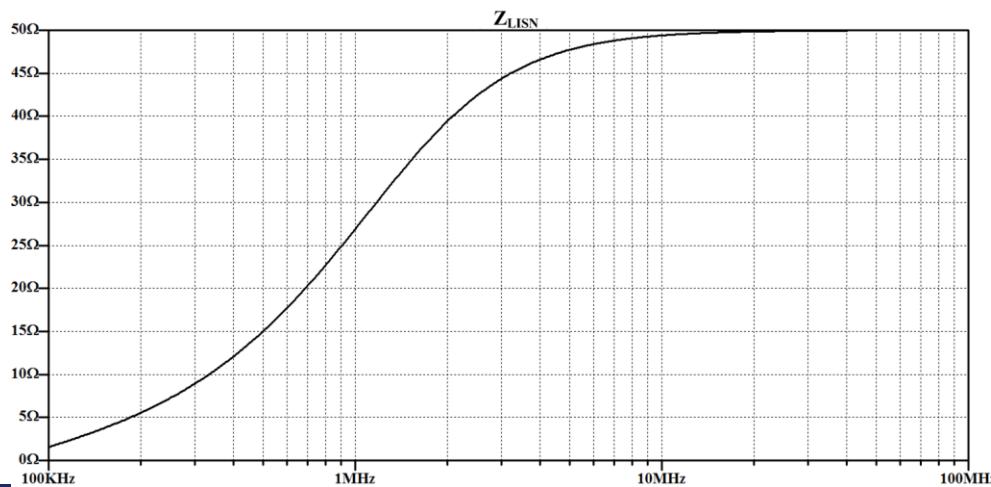


## EMC simulacije



## EMC simulacije

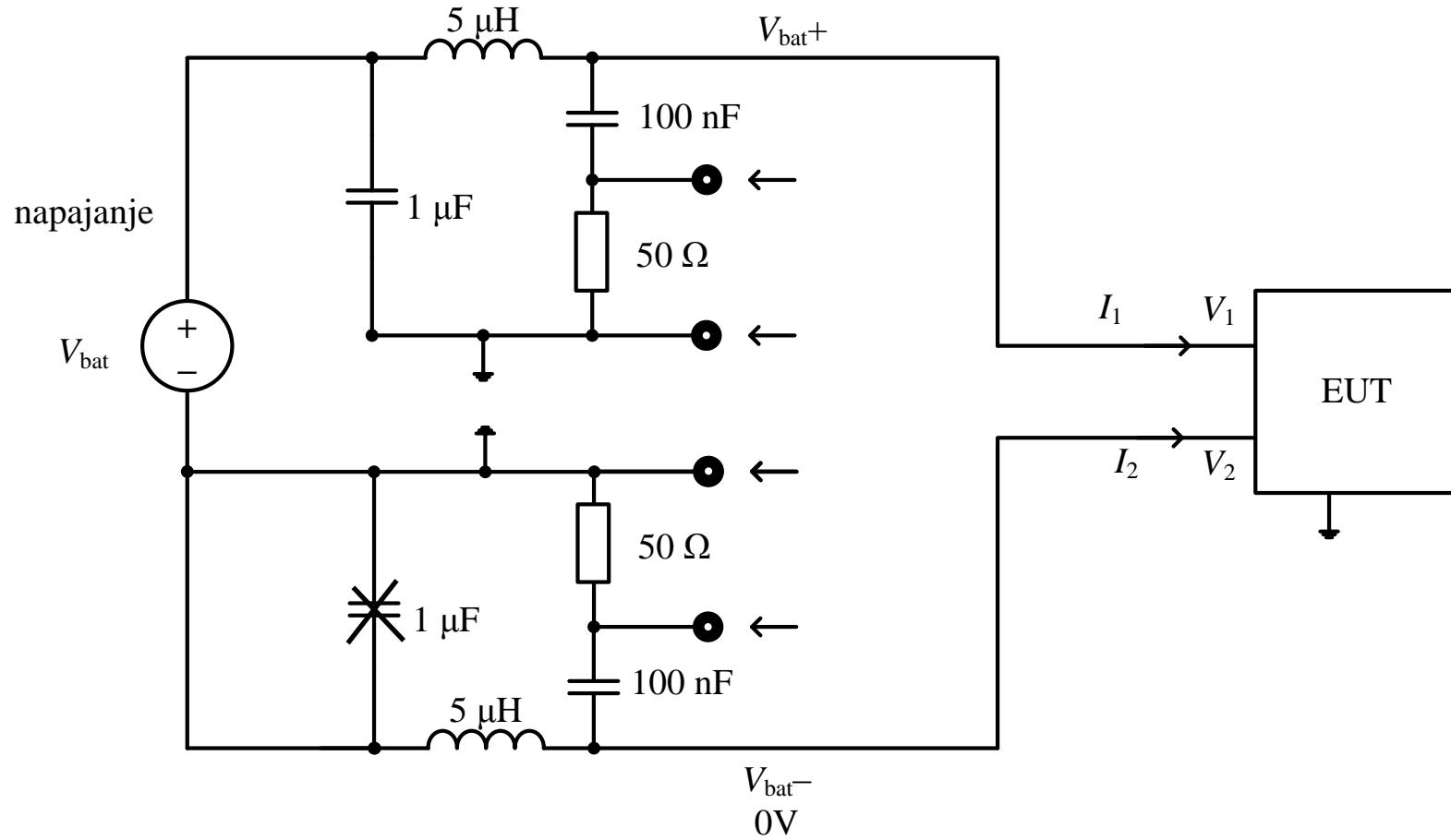
### Model merilne postavitve – CISPR 25 LISN vezje



## EMC simulacije

### ■ Model merilne postavitve

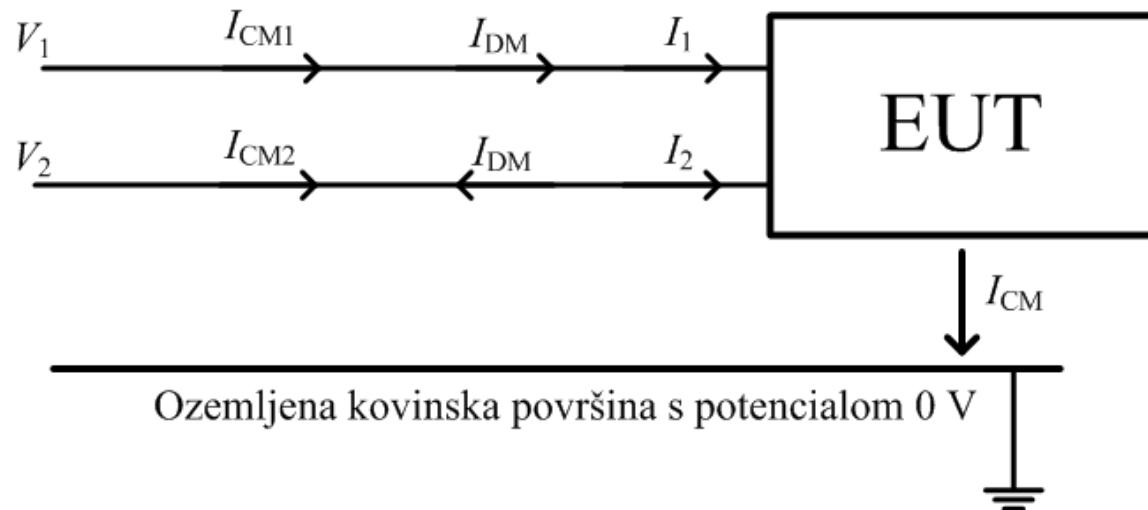
- Nadomestno SPICE vezje



## EMC simulacije

### ■ Model merilne postavitve

- Sofazni, protifazni tokovi in napetosti

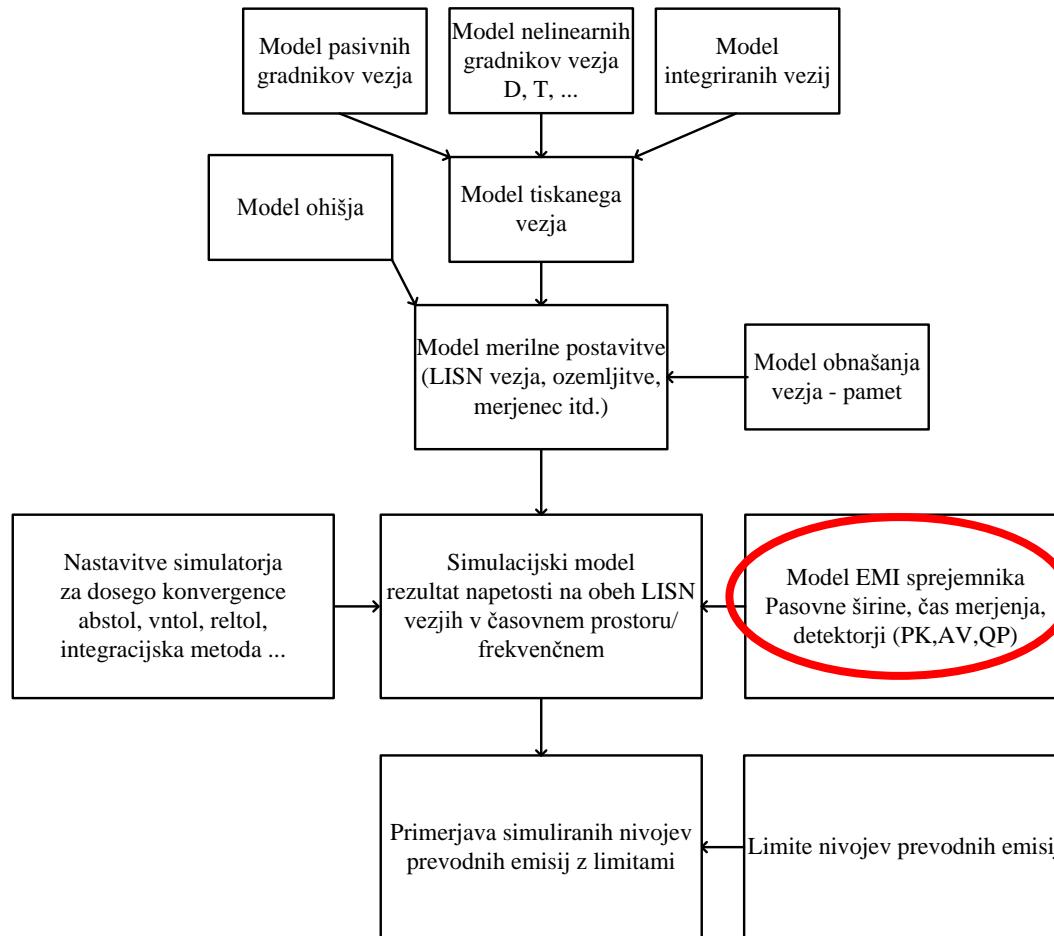


$$\begin{aligned}V_1 &= V_{DM} + V_{CM} \\V_2 &= V_{CM} - V_{DM} \\V_{CM} &= \frac{V_1 + V_2}{2} \\V_{DM} &= \frac{V_1 - V_2}{2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_1 &= I_{DM} + I_{CM1} \\I_2 &= I_{CM2} - I_{DM} \\I_{CM} &= I_1 + I_2 \\I_{DM} &= \frac{I_1 - I_2}{2}\end{aligned}$$

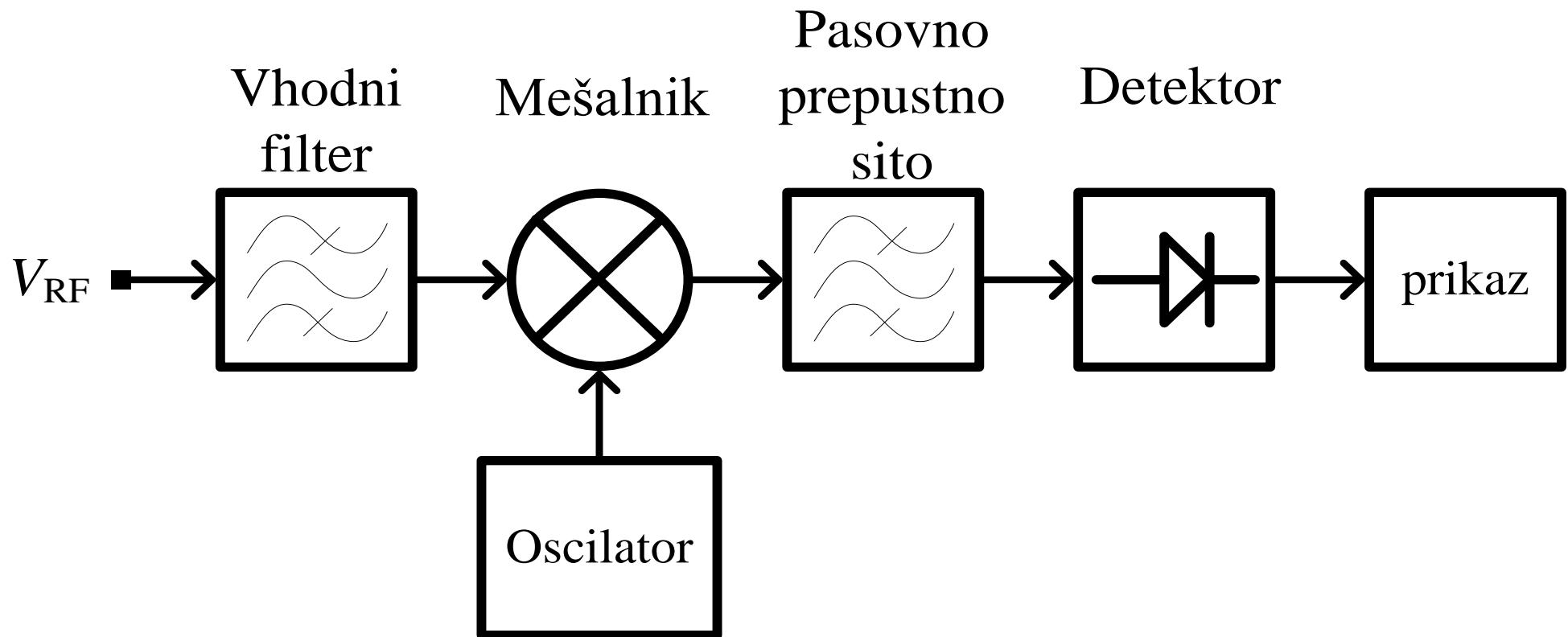
# EMC simulacije

## **Osnovni model/postopek simulacije prevodnih emisij – napetosti na LISN vezjih**



- **Če simulacije poganjamo v časovnem prostoru, kako simulirane napetosti na LISN vezjih iz časovnega prostora pretvorimo v frekvenčni prostor?**
- **Model EMI sprejemnika izračuna frekvenčni spekter časovnega signala. Pri izračunu upošteva lastnosti EMI sprejemnika.**

## EMC simulacije

■ **EMI sprejemnik – blokovna shema**

## EMC simulacije

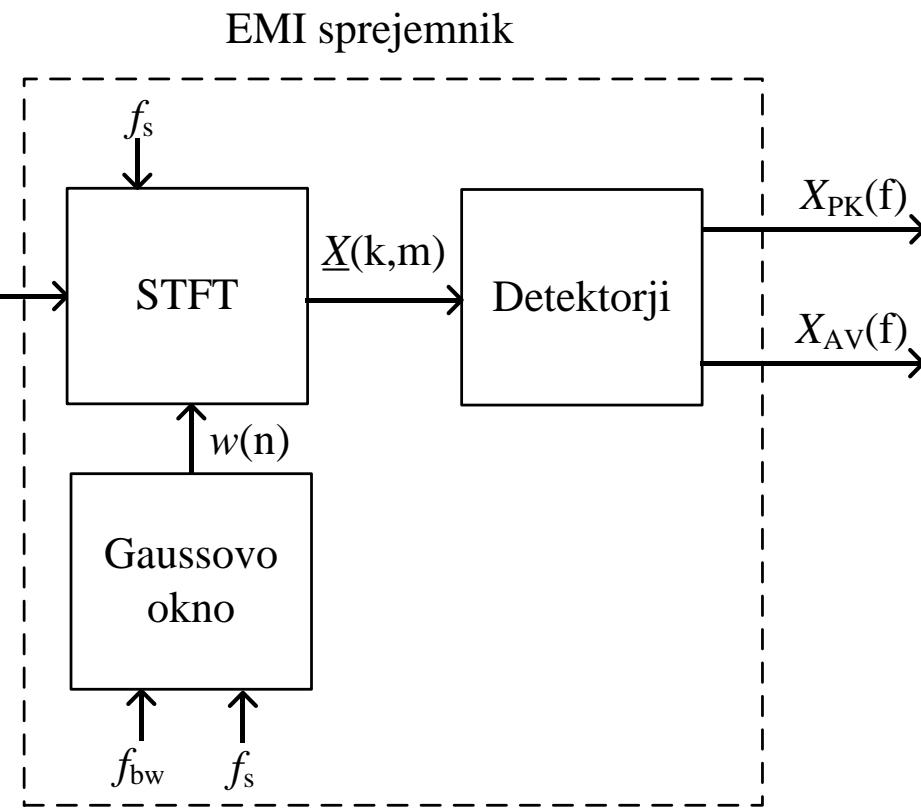
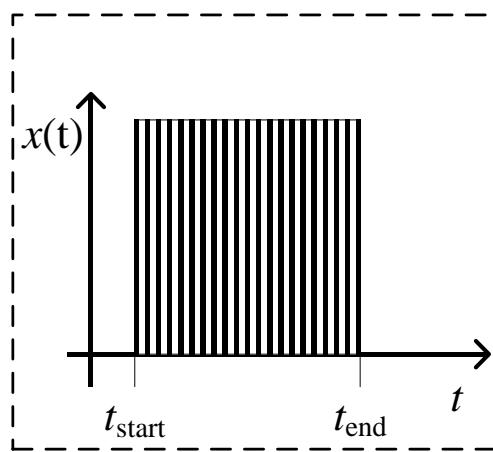
■ ***EMI sprejemnik – čas meritve in pasovno prepustno sito – CISPR25***

Frekvenčni pas [MHz]	Pasovno prepustno sito [kHz]	Čas meritve na posamezni frekvenci [ms]
0,15 – 30	9	50
30 – 1000	120	5
1000 – 2500	1000	50

## EMC simulacije

### ■ Model EMI sprejemnika – blokovna shema

Časovna simulacija  
(SPICE)



# EMC simulacije

## ■ Model EMI sprejemnika – STFT izračun

$$\underline{X}(k, m) = \frac{2}{\sqrt{2}N_{win} G_c} \sum_{n=1}^{N_{win}} \left( x \left[ n + (m - 1)N_{win} \left( 1 - \frac{\theta_{proc}}{100} \right) \right] w[n] e^{-j2\pi \frac{n k}{N_{win}}} \right)$$

**Časovno zamaknjen vhodni signal  $x[n]$**

**Okno  $w[n]$**

**Popravek amplitude, ker EMI sprejemnik izmeri RMS vrednosti, FFT izračuna PK vrednosti**

**Konvolucija zamaknjenega signala z oknom**

V L-tem stolpcu pa frekvenčni spekter  $\underline{X}(k, L)$  v celotnem frekvenčnem področju  $f \in [f_{res}, \frac{f_s}{2}]$ ,  $f_{res} = \frac{f_s}{N_{win}}$ , pri času  $t_{stft} = (L - 1)t_{med} + \frac{N_{win}}{2f_s}$ .

V K-ti vrstici polja se nahaja frekvenčni spekter  $\underline{X}(K, m)$  pri frekvenci  $K \cdot f_{res}$  in pri različnih časih  $t_{stft}$  (časovni zamik med dvema oknoma).

## EMC simulacije

■ **Model EMI sprejemnika – STFT izračun**

$$\underline{x}(k, m) = \frac{2}{\sqrt{2}N_{win} G_c} \sum_{n=1}^{N_{win}} \left( x \left[ n + (m-1)N_{win} \left( 1 - \frac{O\_proc}{100} \right) \right] w[n] e^{-j2\pi \frac{n k}{N_{win}}} \right)$$

pri čemer je  $G_c$  koherentno ojačenje zaradi uporabe okna:

$$G_c = \frac{1}{N_{win}} \sum_{n=1}^{N_{win}} (w[n])$$

**Procent prekrivanja sosednjih  
oken**

vrednosti spremenljivke  $m$  so cela števila v območju:

$$m \in [1, M], M = \left\lfloor \frac{N - \frac{N_{win} \cdot O\_proc}{100}}{N_{win} - \frac{N_{win} \cdot O\_proc}{100}} \right\rfloor$$

in vrednosti spremenljivke  $k$  cela števila v območju:

$$k \in \left[ 1, \frac{N_{win}}{2} \right]$$

## **Model EMI sprejemnika – izračun Gaussovega okna**

Impulzni odziv Gaussovega okna premaknjenega za polovico dolžine okna  $\frac{N_{win}}{2}$  je:

$$w[n] = \frac{N_{win} - 1}{\sqrt{2\pi}f_s s\sigma} e^{-\frac{(n-\frac{N_{win}}{2})^2}{2f_s^2\sigma^2}}$$

pri čemer je indeks  $n \in [1, N_{win}]$

Predpisana pasovna širina pasovno prepustnega sita  $f_{bw}$  (-6 dB) določa standardno deviacijo  $\sigma$ .

$$\sigma = \frac{\sqrt{2\ln 2}}{2\pi \frac{f_{bw}}{2}}$$

Predpisan frekvenčni korak preleta EMI sprejemnika  $f_{step}$  določa frekvenčno ločljivost  $f_{res}$ , ta pa definira dolžino okna  $N_{win}$

$$N_{win} = \left\lfloor \frac{f_s}{f_{step}} \right\rfloor$$

## ■ ***Model EMI sprejemnika – izračun Gaussovega okna***

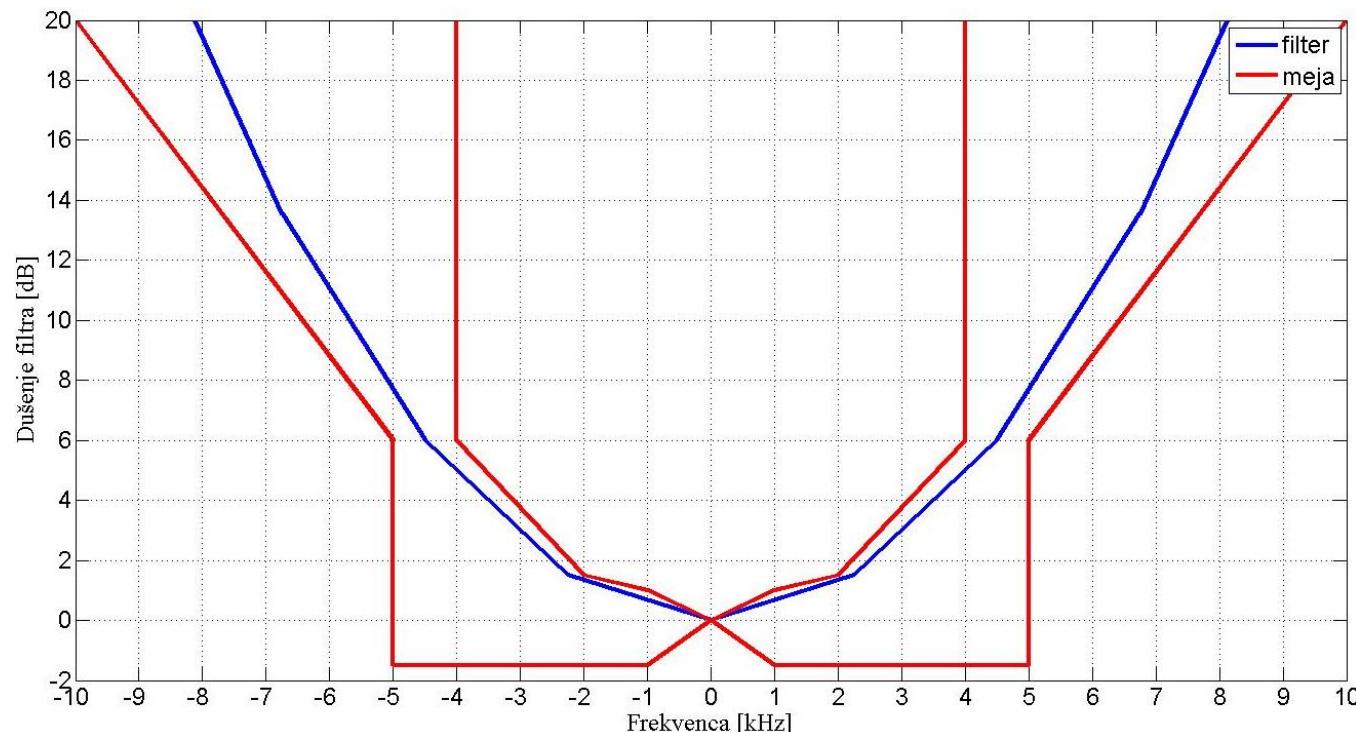
Predpisani frekvenčni koraki in zahtevano pasovno prepustno sito v standardu CISPR25 glede na frekvenčno področje

Frekvenčni pas [MHz]	$f_{BW}$ [kHz]	$f_{step}$ [kHz]
0,15 – 30	9	2,25
30 – 1000	120	30
1000 – 2500	1000	250

## EMC simulacije

### ■ Model EMI sprejemnika – izračun Gaussovega okna

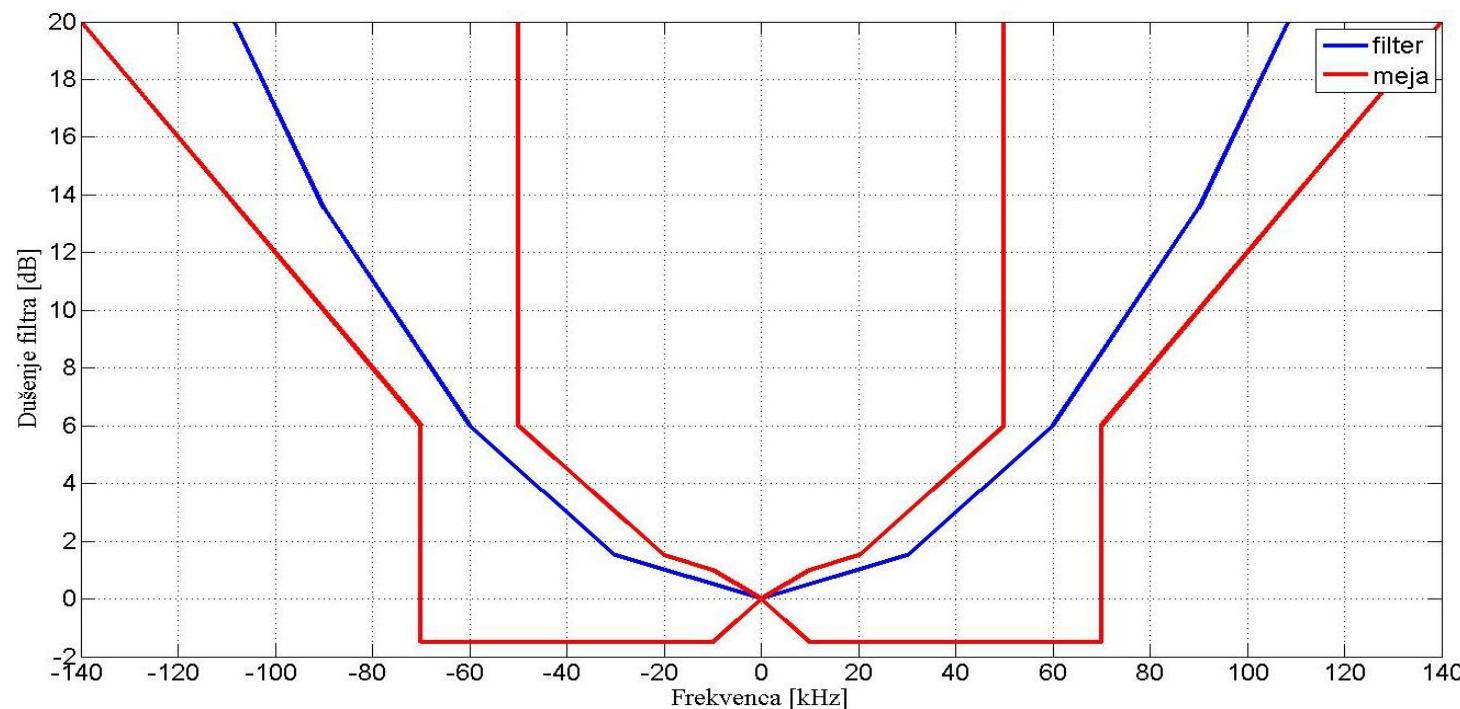
Primerjava realiziranega Gaussovega pasovno propustnega sita pasovne širine 9 kHz (-6dB) z zahtevami standarda CISPR16-1-1



## EMC simulacije

### ■ Model EMI sprejemnika – izračun Gaussovega okna

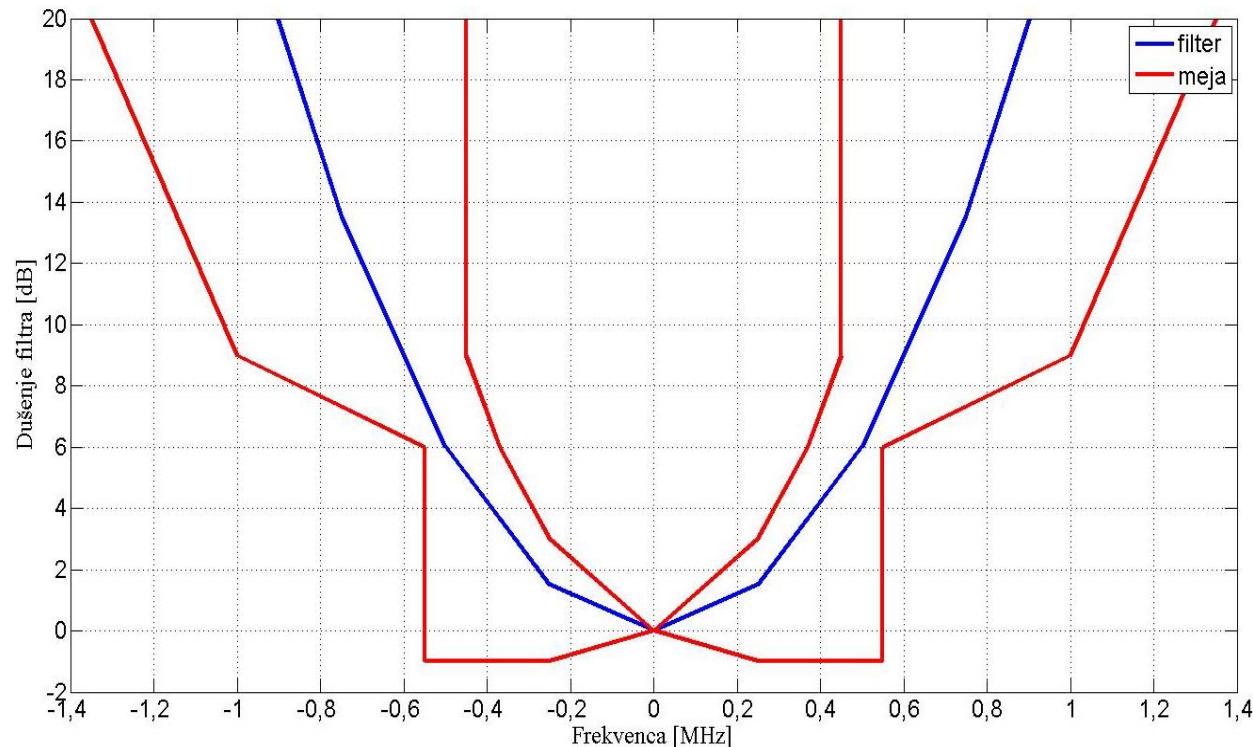
Primerjava realiziranega Gaussovega pasovno propustnega sita pasovne širine 120 kHz (-6dB) z zahtevami iz standarda CISPR16-1-1



## EMC simulacije

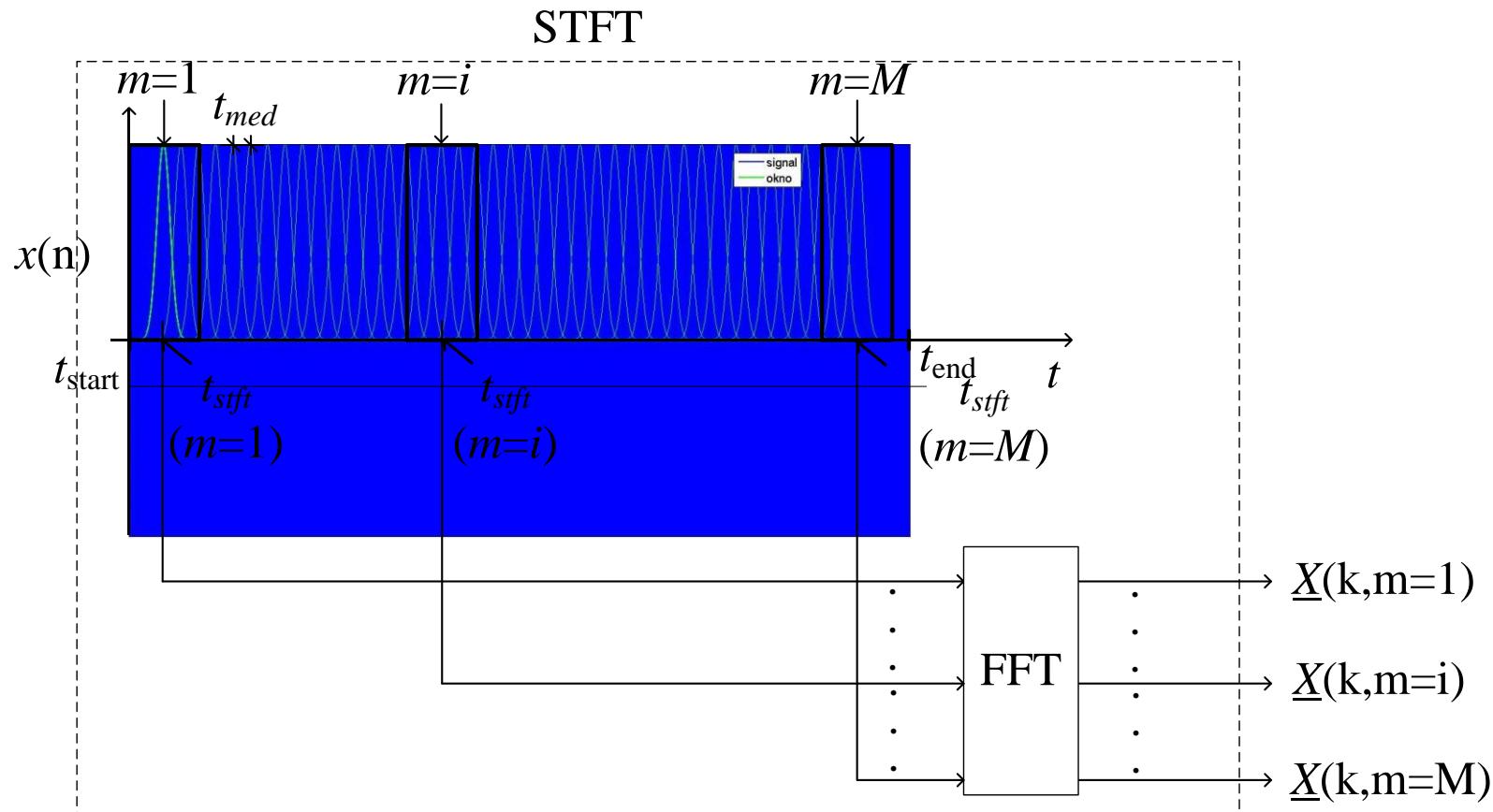
### ■ Model EMI sprejemnika – izračun Gaussovega okna

Primerjava realiziranega Gaussovega pasovno propustnega sita pasovne širine 1 MHz (-6dB) z zahtevami iz standarda CISPR16-1-1



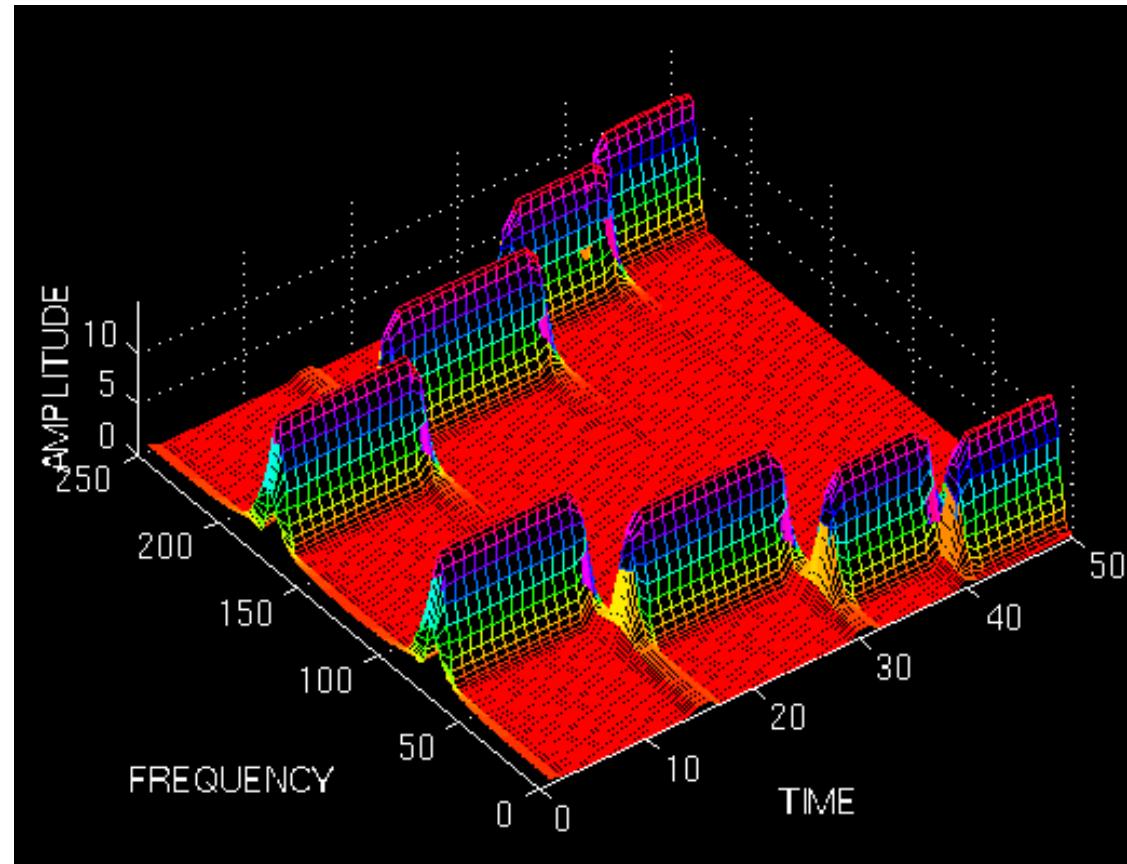
## EMC simulacije

### ■ Model EMI sprejemnika – prikaz izračuna



## EMC simulacije

### ■ ***Model EMI sprejemnika – prikaz izračuna***



### ■ **Model EMI sprejemnika – detektorji**

**Izračun vršne vrednosti (peak) frekvenčnega spektra**

$$X_{PK}(k) = \max |X(k, m)|, m \in [1, M]$$

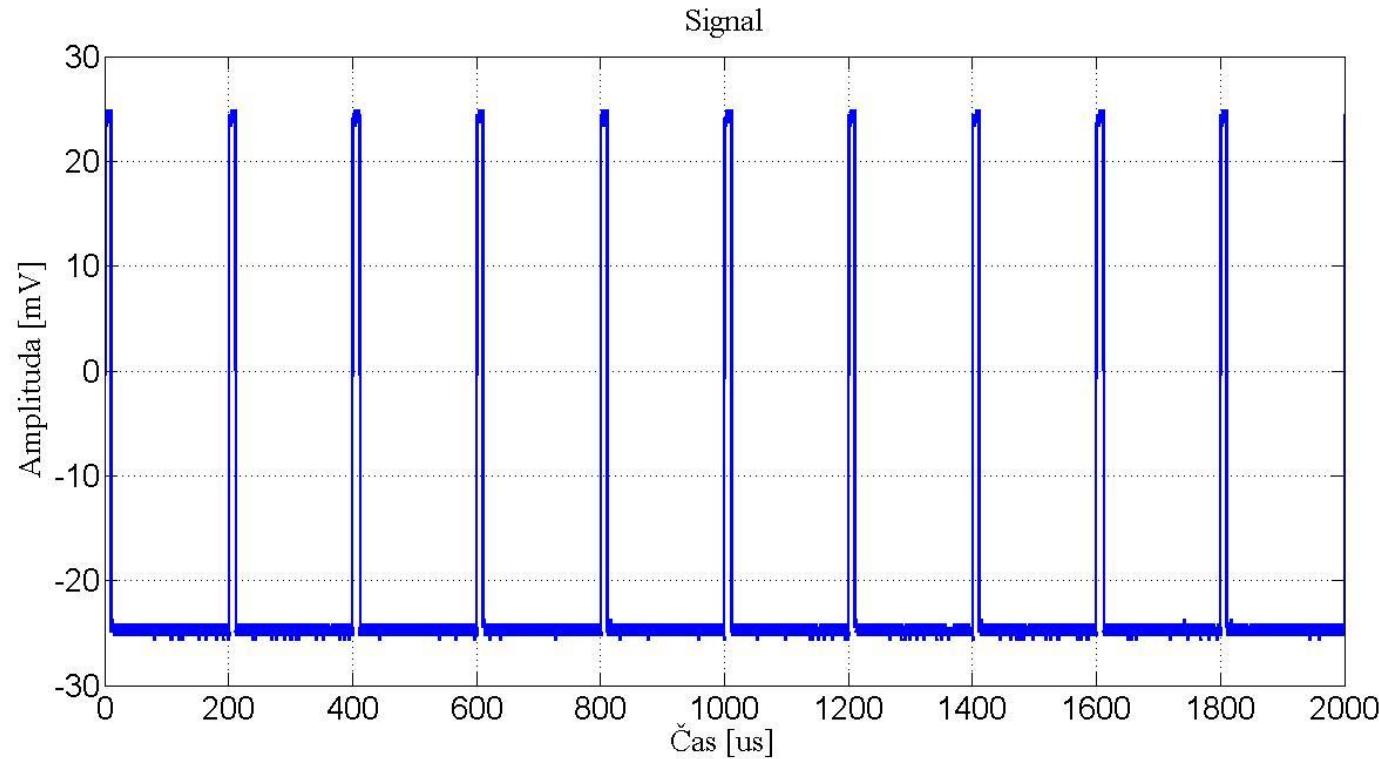
**Izračun povprečne vrednosti (average) frekvenčnega spektra**

$$X_{AV}(k) = \frac{\sum_{m=1}^M |X(k, m)|}{M}$$

# EMC simulacije

## 1. Primer spektra signala

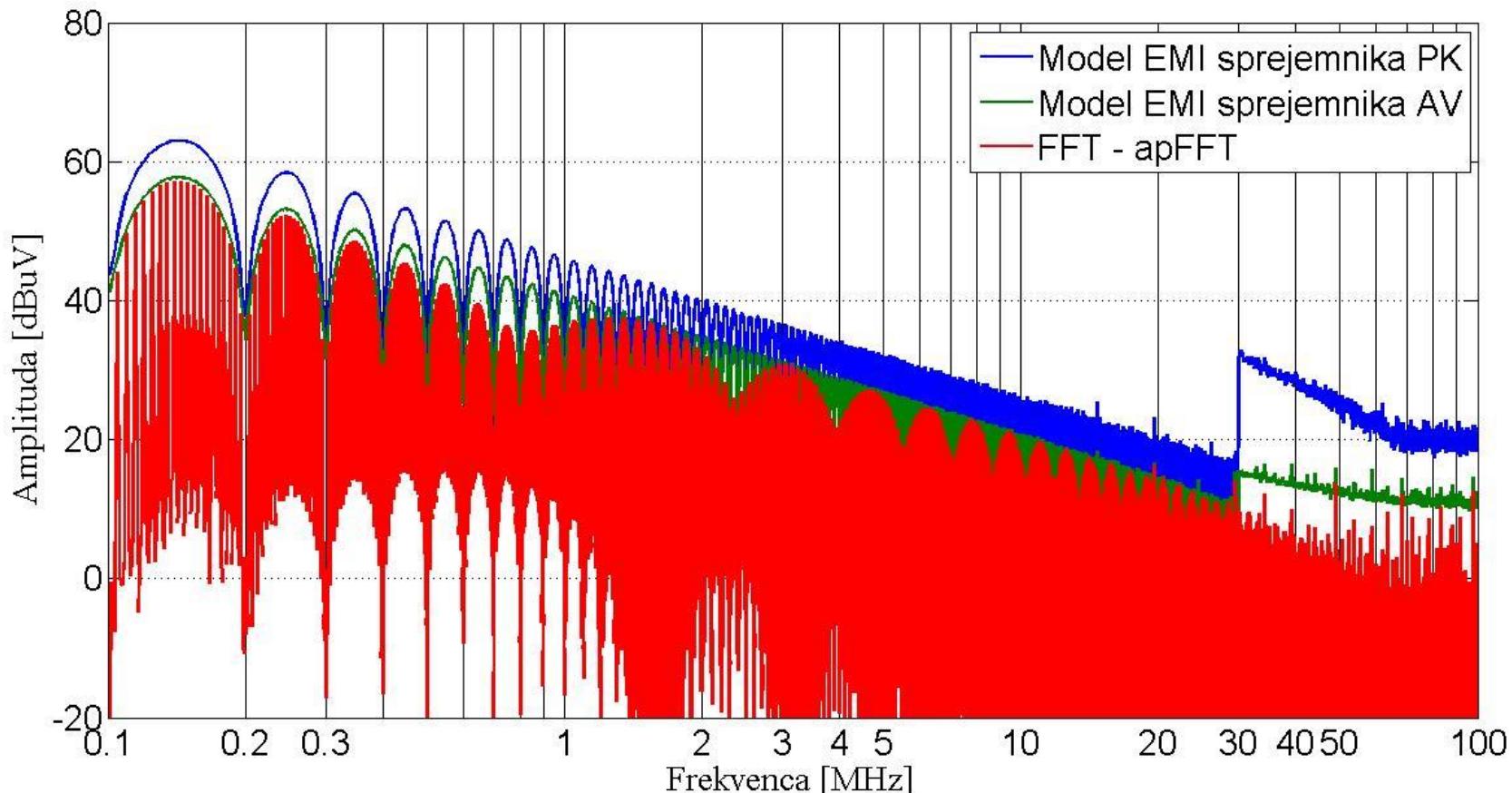
Pravokoten signal: Amplituda 50mVpp, frekvenca 5 kHz, čas vzpona 10 ns, čas padanja 10 ns, obratovalni cikel (duty cycle) 5%.



## EMC simulacije

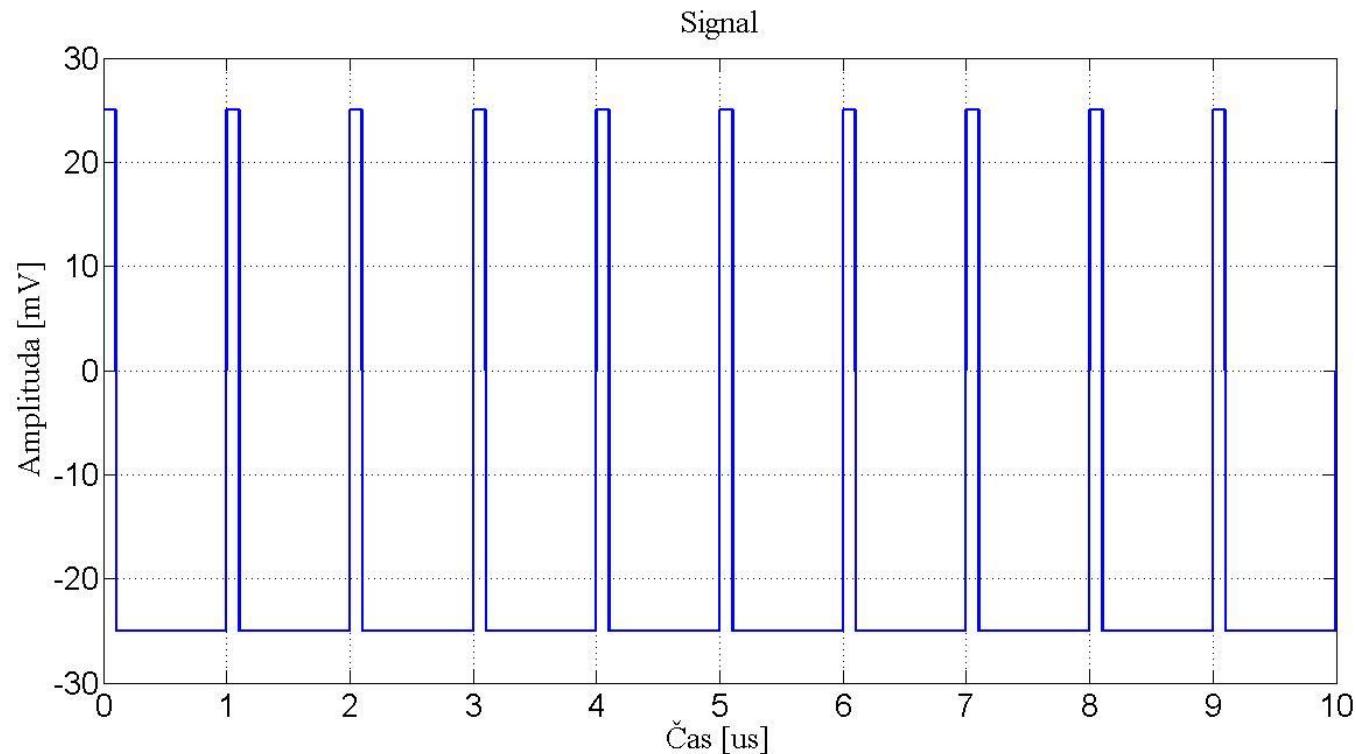
### 1. Primer spektra signala

Izračun spektra z modelom EMI sprejemnika in z uporabo FFT metode - apFFT



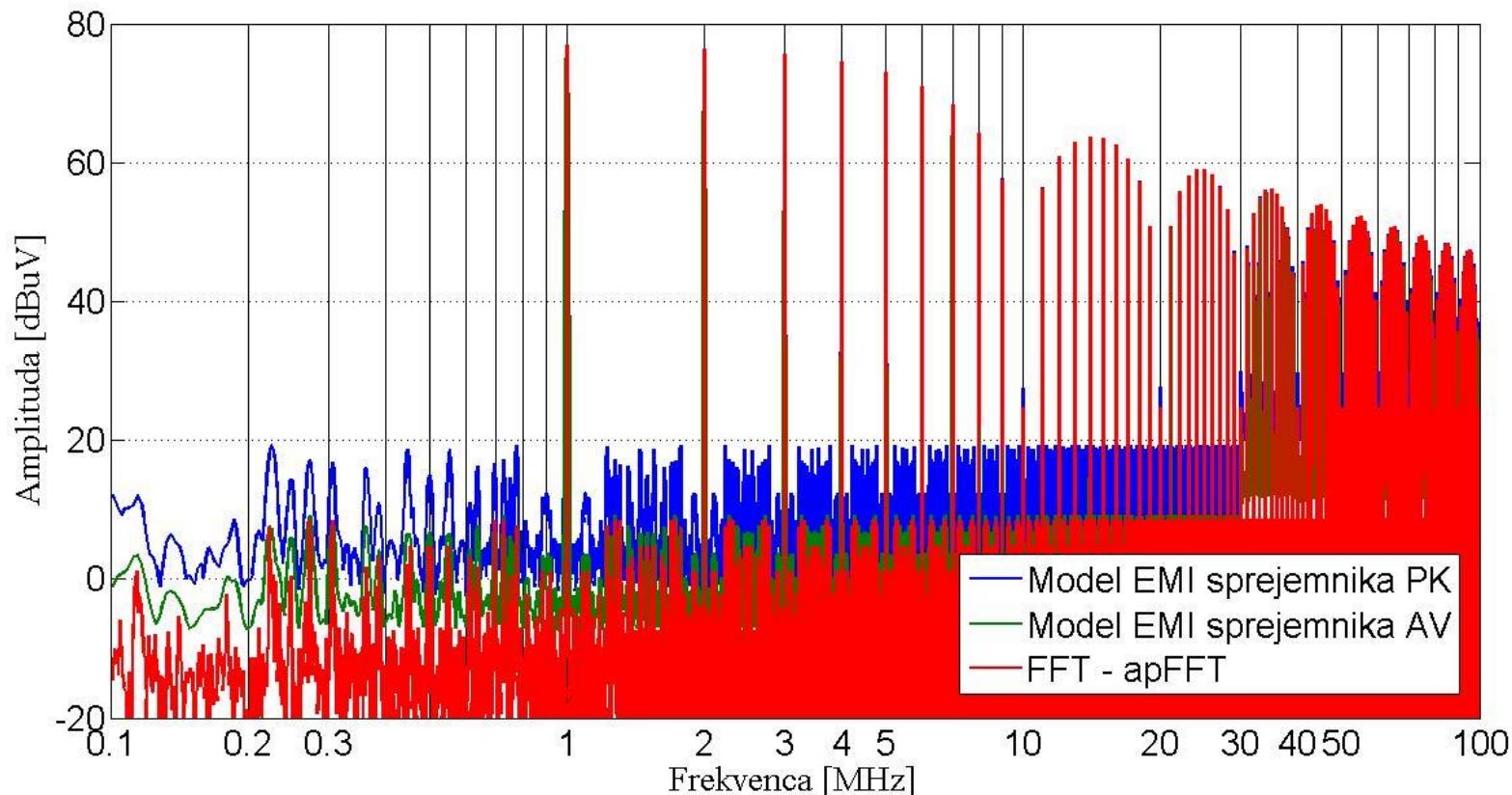
## 2. Primer spektra signala

Pravokoten signal: Amplituda 50mVpp, frekvenca 1 MHz, čas vzpona 10 ns, čas padanja 10 ns,  
obratovalni cikel (duty cycle) 10%.



## 2. Primer spektra signala

Izračun spektra z modelom EMI sprejemnika in z uporabo FFT metode - apFFT



## EMC simulacije

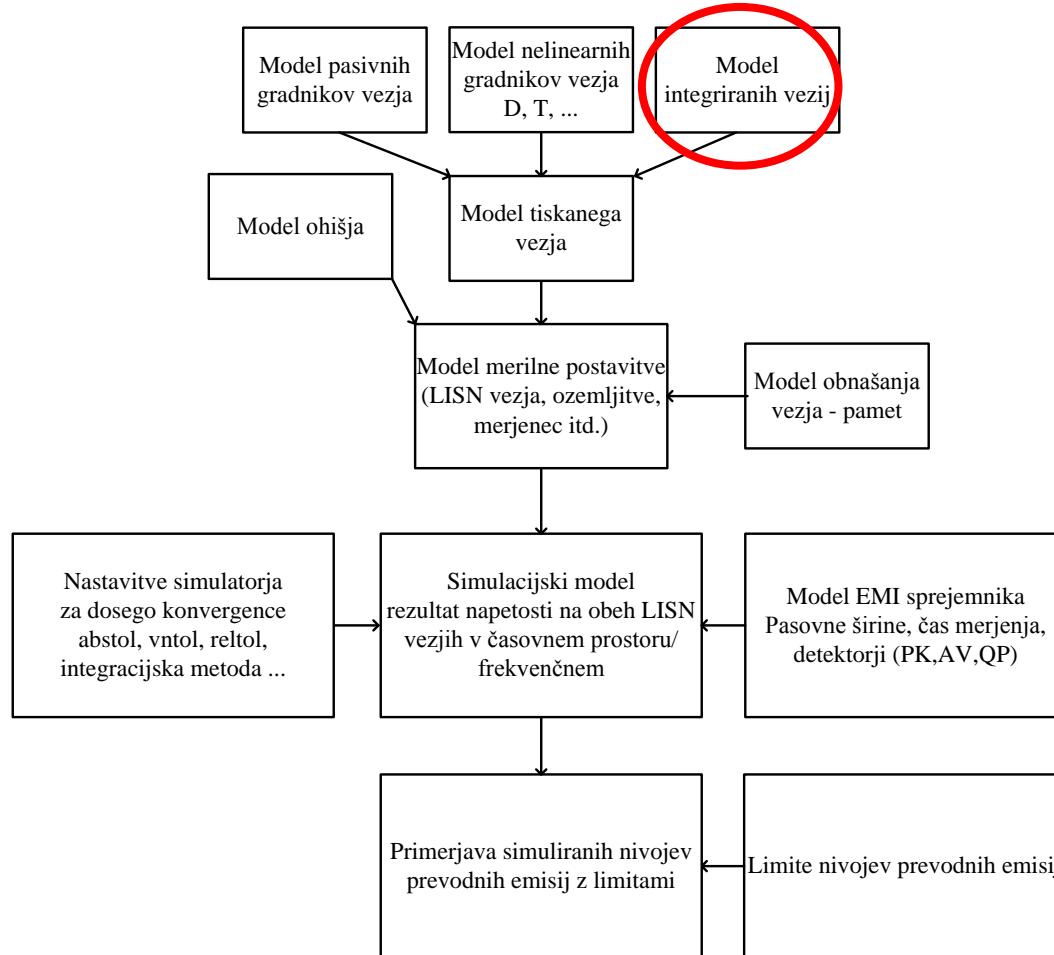
**Če je pasovna širina pasovno propustnega sita EMI sprejemnika manjša od frekvence signala, potem je vršna vrednost in povprečna vrednost frekvenčnega spektra enaka. Spekter EMI sprejemnika je enak spektru izračunanem z FFT metodo.**

$$IFBW < f_{signala} \rightarrow PK = AV = QP = \text{abs}\{FFT}(X)\}$$

**Drugače, vršna vrednost ni enaka povprečni vrednosti frekvenčnega spektra. Spekter izračunan z FFT metodo ni primerljiv s spektrom izračunanim z modelom EMI sprejemnika**

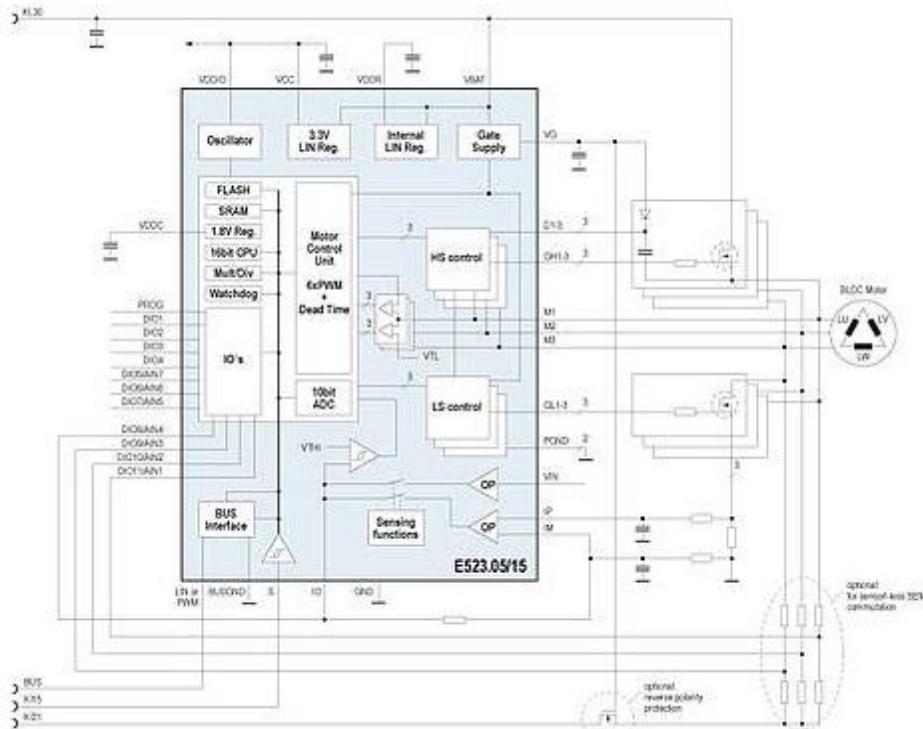
## EMC simulacije

### ***Osnovni model/postopek simulacije prevodnih emisij – napetosti na LISN vezjih***



## EMC simulacije - integrirana vezja - Uvod

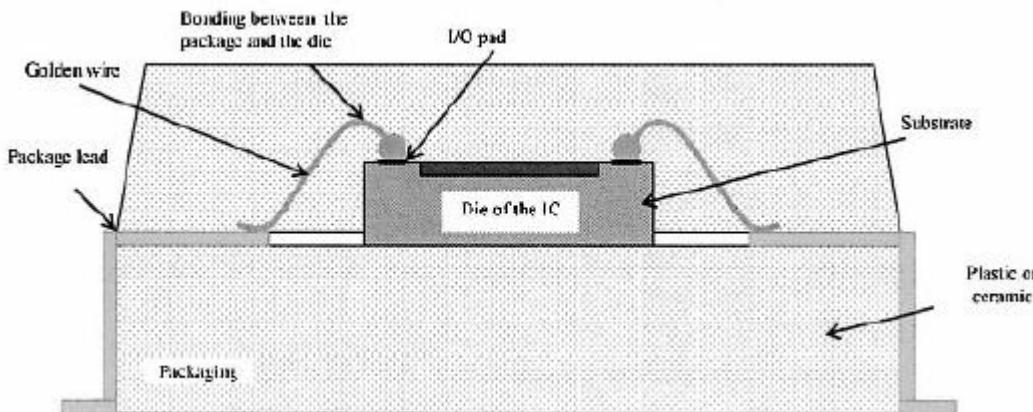
- Integrirana vezja so potrebna za izvedbo sodobnih, kompleksnih tiskanih vezij.
- Vedno več in več funkcij je vgrajenih v integrirano vezje imenovano sistem na čipu (SoC). Z uporabo takšnih integriranih vezij zmanjšamo število komponent, velikost tiskanega vezja in ceno elektronske naprave.
- Več funkcij in večje število tranzistorjev na integriranem vezju navadno vodi v večjo verjetnost za težave z elektromagnetsko združljivostjo elektronske naprave.



Vir: ELMOS SOC za motorno kontrolo

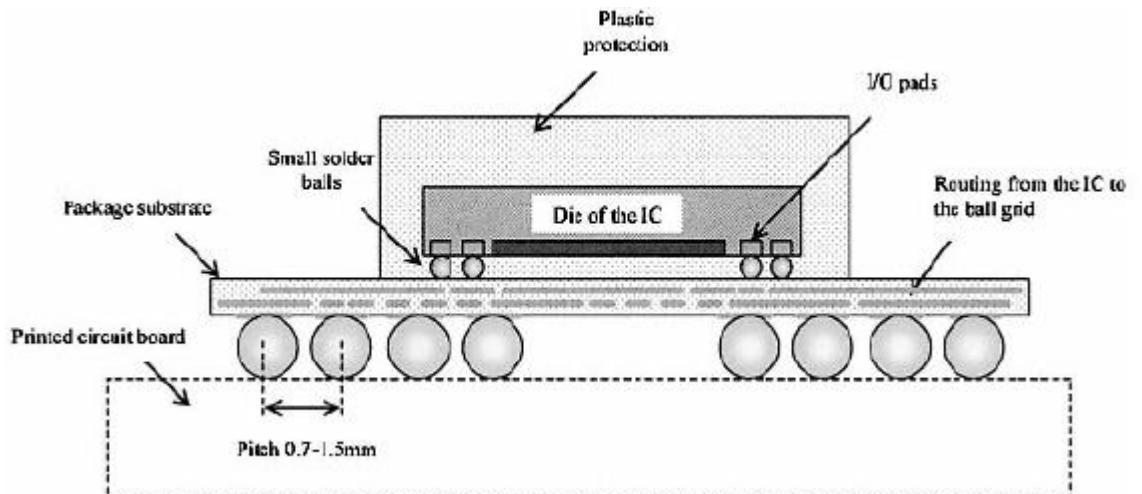
## EMC simulacije - integrirana vezja - Evolucija

- Integrirano vezje je povezano na ohišje z bondi (bonded) ali kroglicami spajke (solder balls)



QFP – quad flat pack

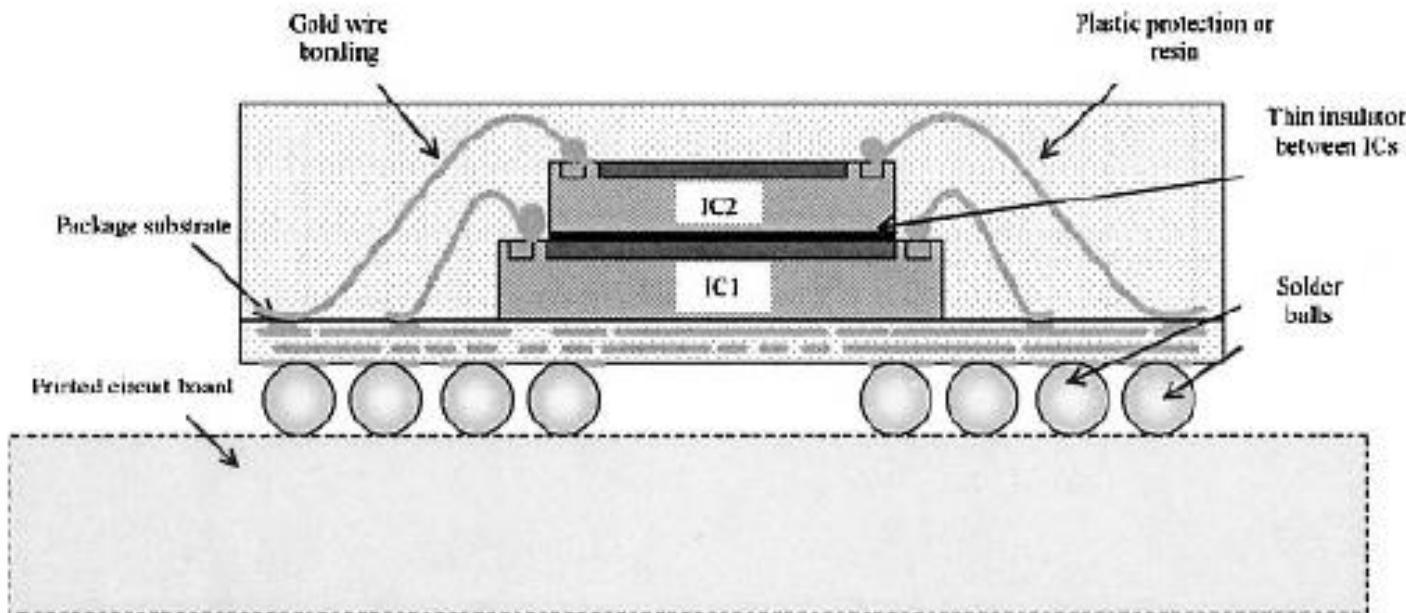
BGA – ball gate array



Vir: EMC IC – Etienne Sicard

## EMC simulacije - integrirana vezja - Evolucija

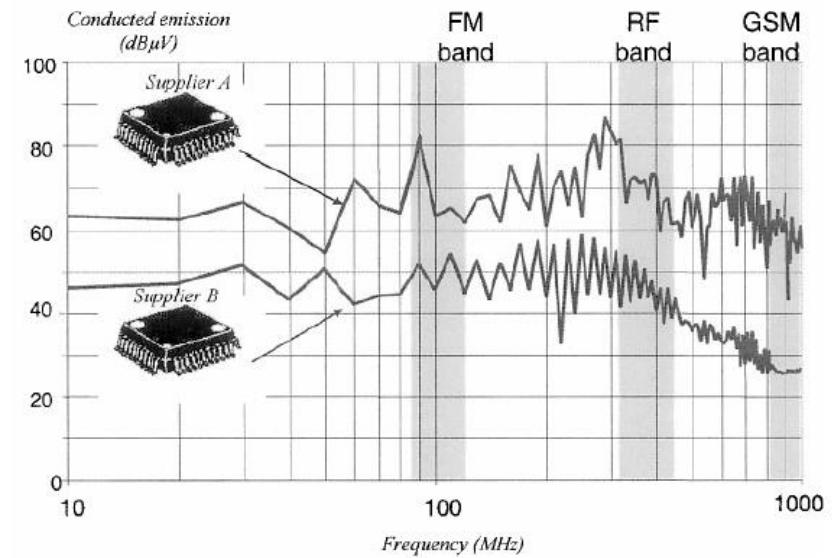
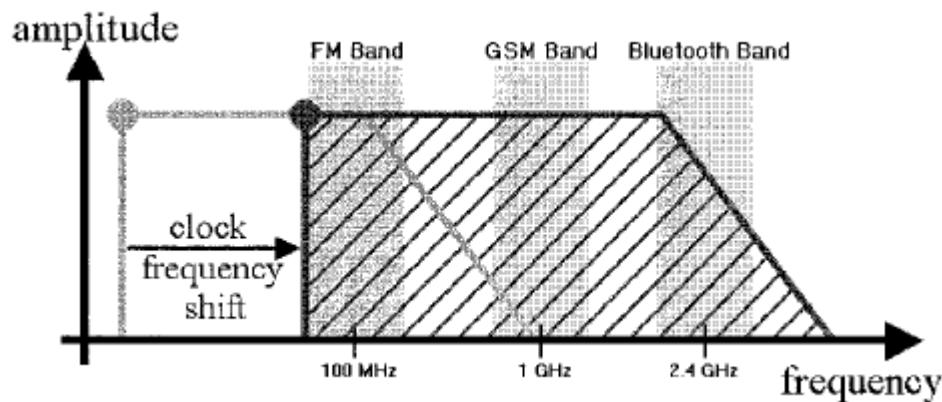
- Zlaganje integriranih vezij eno na drugo – sistem v ohišju (System in Package – SIP) – EMC težave!
- Parazitni efekti zaradi bližine – presluhi.



Vir: EMC IC – Etienne Sicard

## EMC simulacije - integrirana vezja - Evolucija

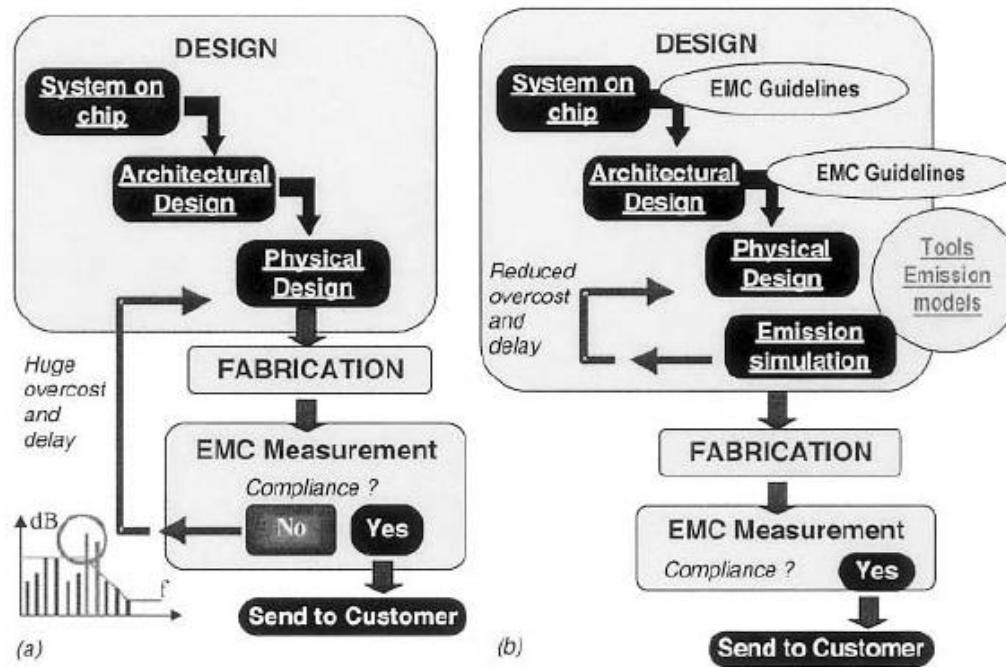
- Frekvenčni spekter emisij integriranega vezja je sestavljen iz harmonskih komponent urinega signala.
- Frekvence urinih signalov so vedno višje. Posledično lahko emisije integriranega vezja motijo komunikacijske naprave (FM radio, GSM, GPS, bluetooth, LTE, itd).
- Čeprav je tip integriranega enak, se emisije (in tudi imunost) od proizvajalca do proizvajalca integriranega vezja razlikujejo.



Vir: EMC IC – Etienne Sicard

## EMC simulacije - integrirana vezja - načrtovanje

- Algoritmi/metodologije za načrtovanje integriranega vezja za nizke emisije pred izdelavo.
- **Zakaj?** Izdelava ene verzije integriranega vezja stane lahko do €5M! In lahko zakasni masovno proizvodnjo/industrializacijo integriranega vezja do 12 mesecev.



Vir: EMC IC – Etienne Sicard

## Kaj lahko načrtovalec tiskanega vezja naredi?

1. Izbere integrirano vezje z najvišjo imunostjo in najnižjimi emisijami.
2. Definira optimalno filtriranje in blokiranje na tiskanem vezju v bližini integriranega vezja.
3. Optimizira postavitev gradnikov in povezav tiskanega vezja za dosego EMC zahtev na nivoju elektronske naprave.
4. Oceni vpliv redizajna (nove verzije) integriranega vezja, nove tehnologije integriranega vezja ali spremembe ohišja integriranega vezja na elektromagnetno združljivost elektronske naprave.

## EMC simulacije - integrirana vezja – IC-EMC standardizacija

### Merilne metode za karakterizacijo emisij integriranega vezja:

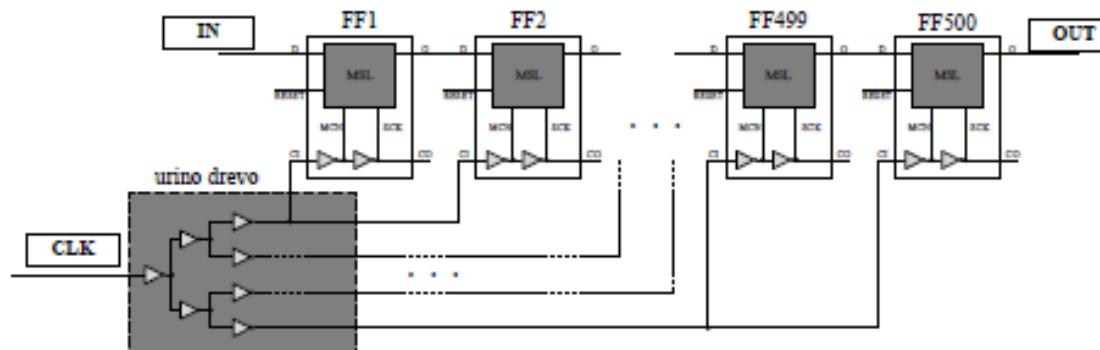
#### Emisije

standard					
IEC 61967-1					o TEM
IEC 61967-2	<i>IEC 61967-2 (GTEM cell)</i>	<i>IEC 61967-2 (TEM cell)</i>	<i>IEC 61967-5 (WBFC)</i>	<i>IEC 61967-8 (IC-Strip-line)</i>	tno uporabo
IEC/TS 61967					
IEC 61967-4			 The diagram shows a circuit for measuring current. It consists of a voltage source (1.5V), a resistor R2 (2-500 ohms), a resistor R3 (1 ohm), and a capacitor C (50 pF). The output signal is measured across R3. A red circle highlights the entire circuit area.		nisij z sij z
IEC 61967-5					
IEC 61967-6					
IEC 61967-7			Merjenje elektromagnetnih sevalnih emisij z uporabo magnetne sonde Mode Stirred Chamber		
IEC 61967-8			Merjenje elektromagnetnih sevalnih emisij z uporabo trakaste linije (ang. stripline)		

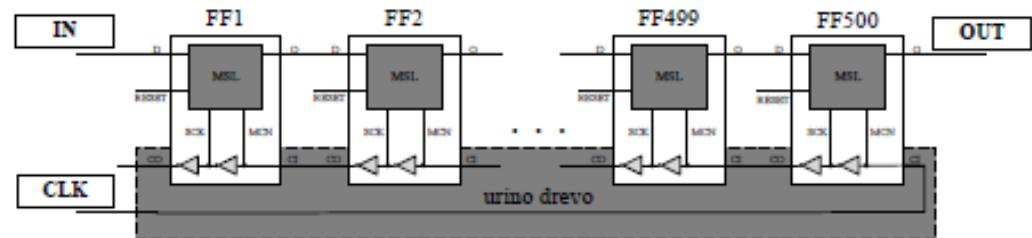
## EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

### Integrirano vezje – emisije digitalnega dela CMOS IC:

- Pomikalni register iz 500 D pomnilnih celic, načrtan v TSMC 0.25 µm CMOS BCD tehnologiji,
- Sinteza:
  - Minimalna časovna zakasnitev med preklopi celic preklapljanje – REF IC



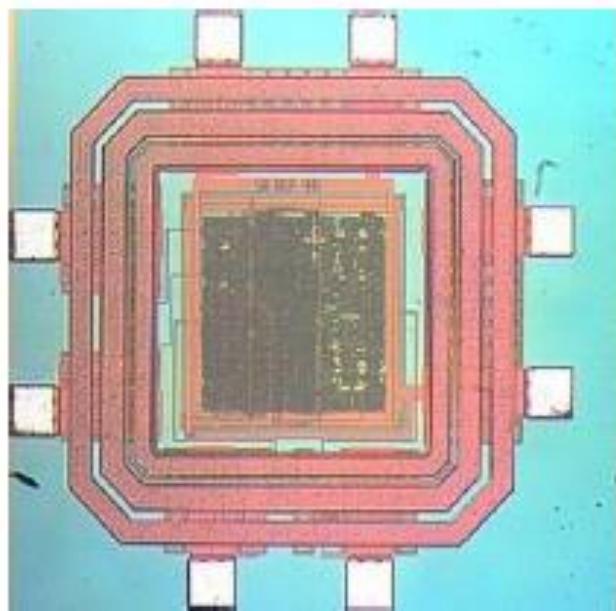
- Zamikanje urinega signala – razporejanje preklopov celic – SCT IC



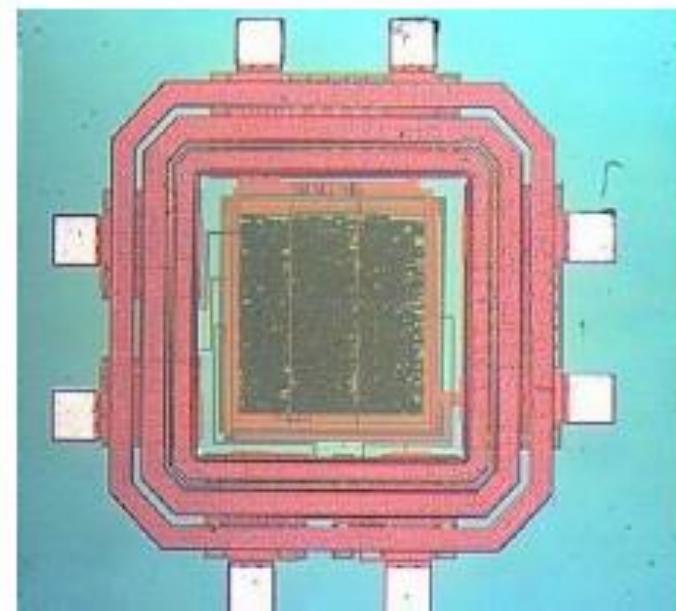
Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

## EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

REF IC

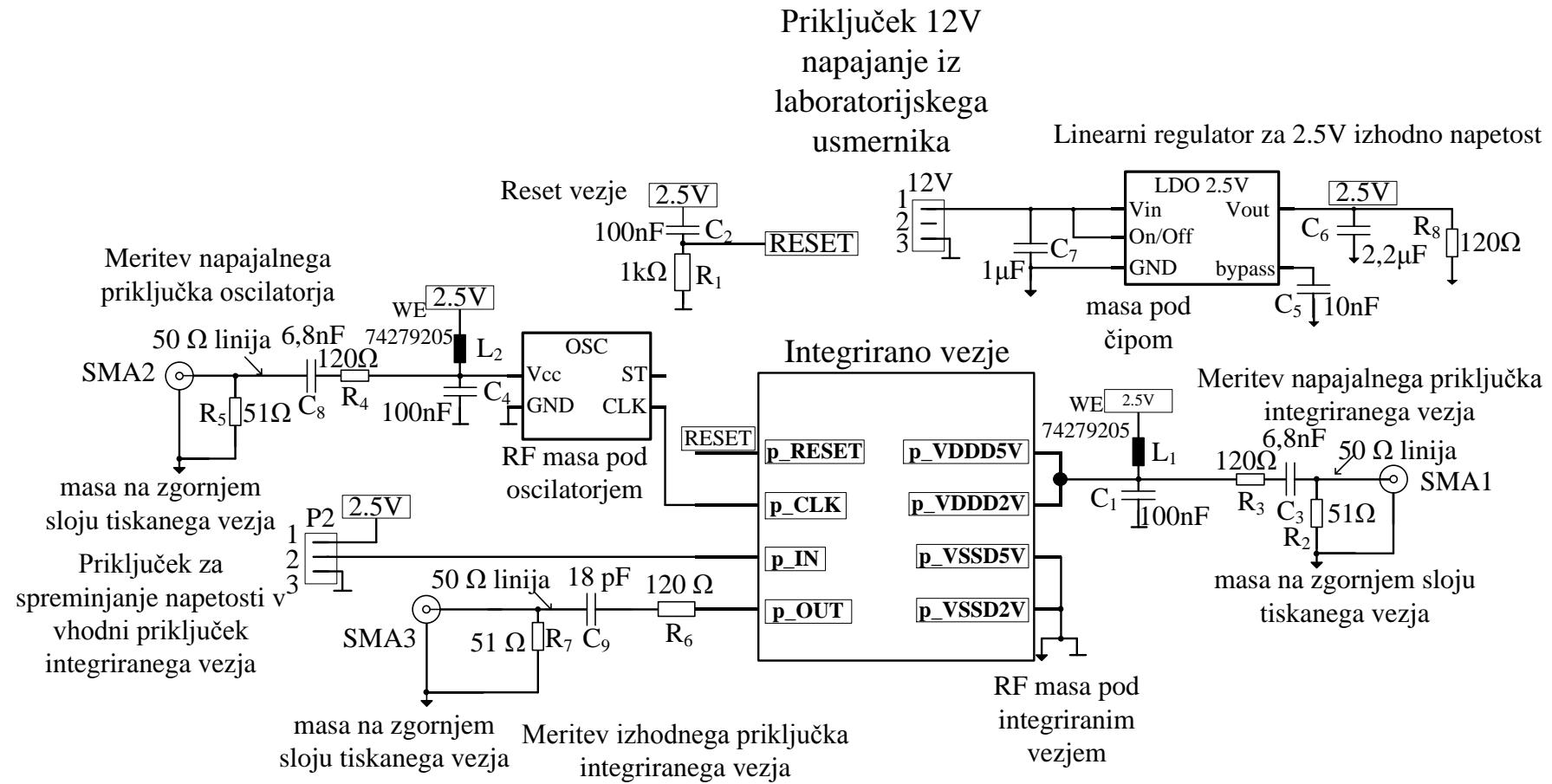


SCT IC



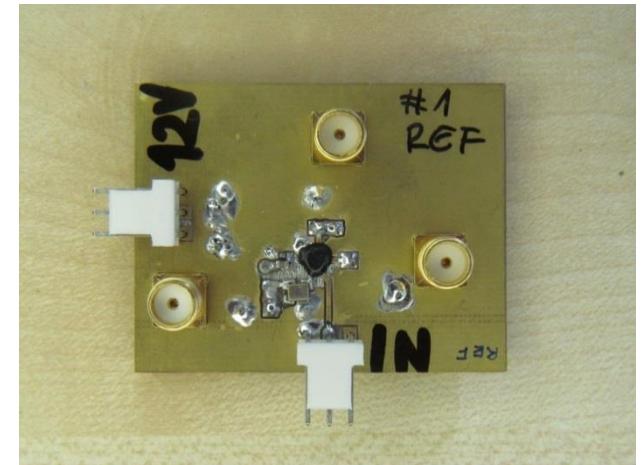
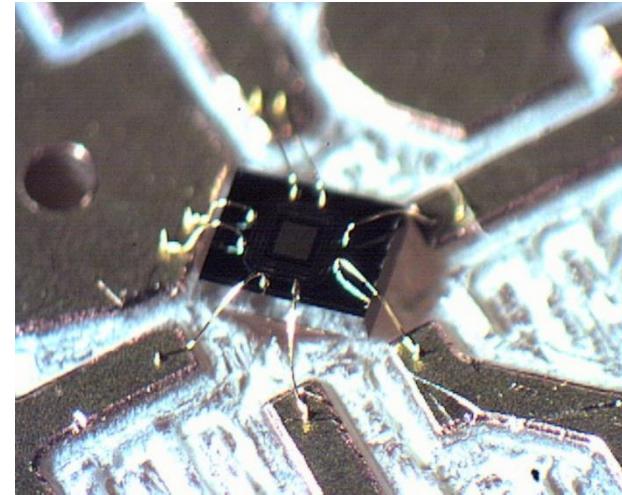
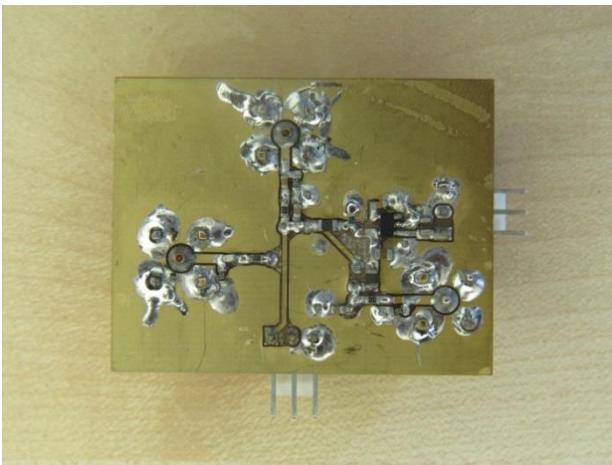
Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

# EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja



Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

## EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja



Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

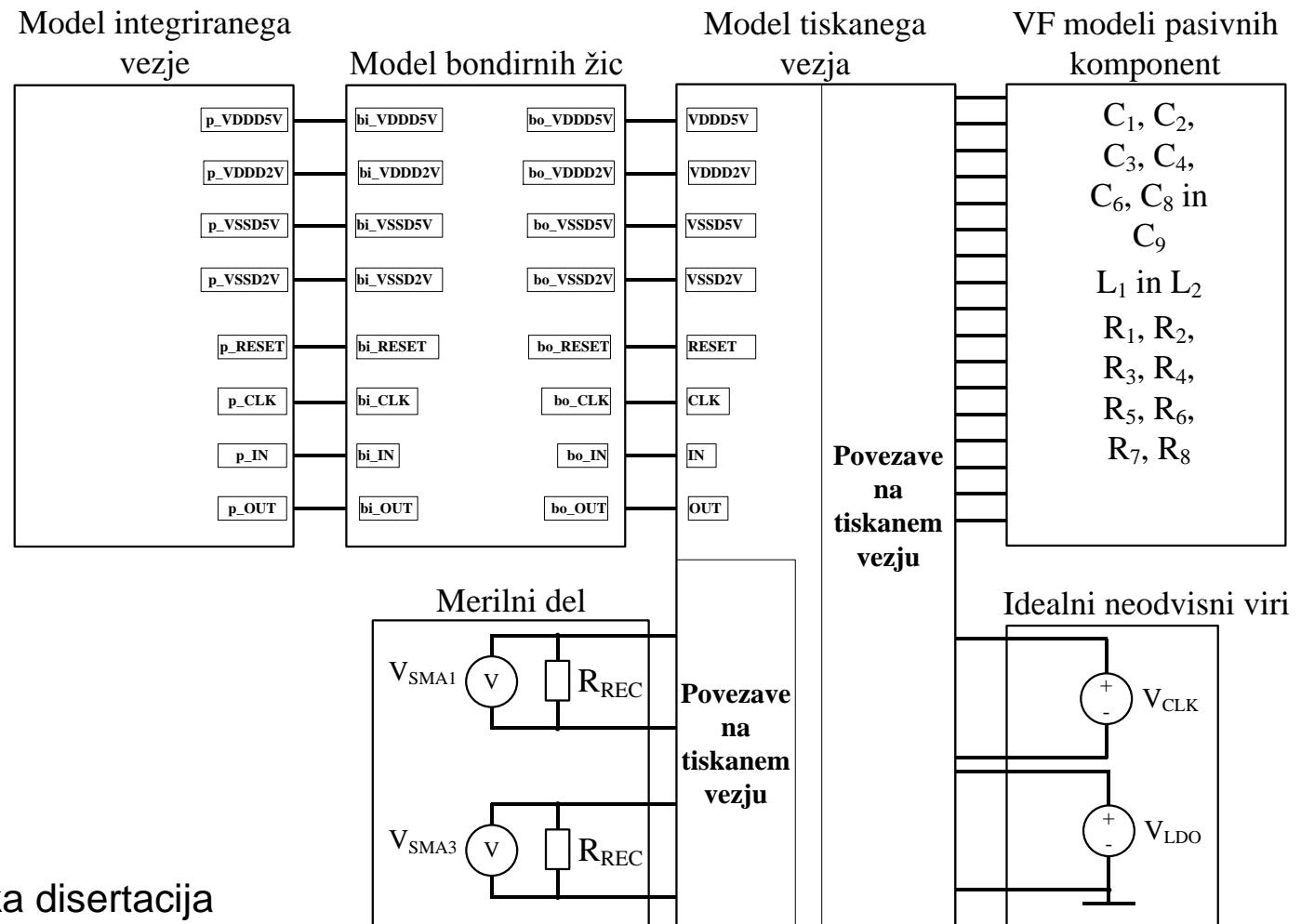
### **Prevodne emisije integriranega vezja smo modelirali s tremi modeli:**

- Model v časovnem prostoru z modelom integriranega vezja na tranzistorskem nivoju z RC paraziti
- Model v časovnem prostoru z ICEM-CE modelom integriranega vezja
- Model v frekvenčnem prostoru z ICEM-CE modelom integriranega vezja

Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

# EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

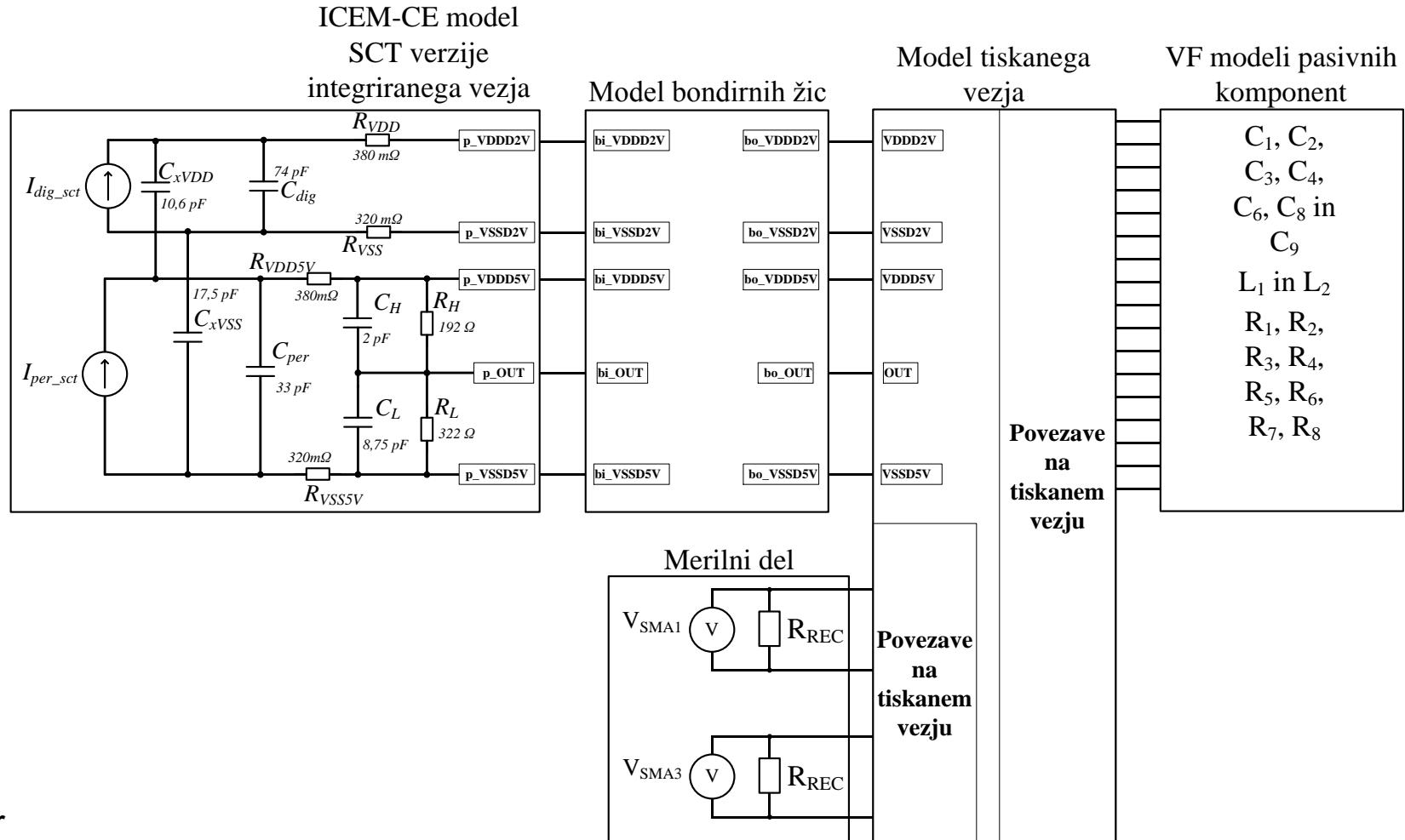
## **Model v časovnem prostoru z modelom integriranega vezja na tranzistorskem nivoju z RC paraziti**



Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

# EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

## Model v časovnem prostoru z ICEM-CE modelom integriranega vezja



Vir: Gregor Ergaver

## EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

### ***Model v frekvenčnem prostoru z ICEM-CE modelom integriranega vezja***

Simulacijski model v frekvenčnem prostoru se od modela v časovnem prostoru razlikuje v tem, da so:

- tokovni viri ( $I_{\text{dig\_ref}}$ ,  $I_{\text{dig\_sct}}$ ,  $I_{\text{per}}$ ) opisani v frekvenčnem prostoru z Laplaceovim transformom. Ž njim opišemo ovojnicico preklopnega toka.
- VF modeli pasivnih komponent zgrajeni iz RLC nadomestnih vezij (niso uporabljeni S-parametri). SPICE simulator (LTSpice), v katerem smo simulirali model v frekvenčnem prostoru, ne podpira modelov opisanih z S-parametri.

Model simuliramo v frekvenčnem prostoru, posledično je čas izračuna hitrejši v primerjavi z modelom v časovnem prostoru. Rezultati pa so manj natančni.

## EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

### ***Simulacijski model integriranega vezja – SPECTRE netlista z RC ekstraktom***

- Več kot 1035000 vrstic netliste,

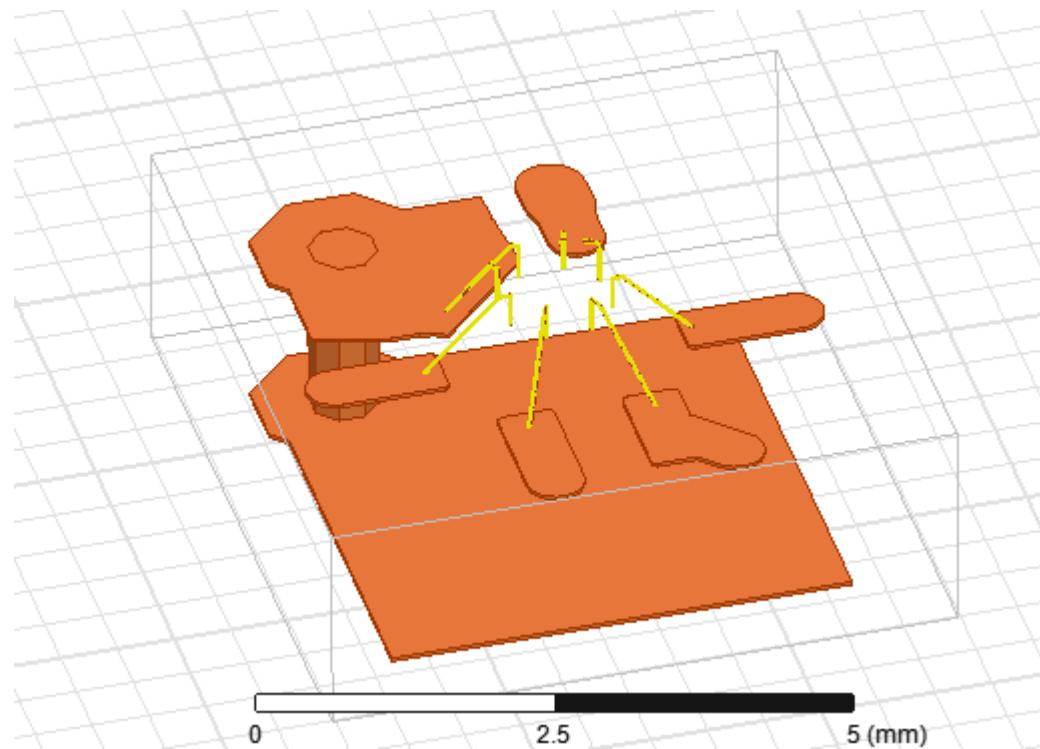
Tip gradnika netliste	število gradnikov
-----	
bsim3v3_sr	19565
bsource_rg	21
capacitor_sr	456781
diode_sr	301
resistor_sr	101728

Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

## EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

### ***3D simulacijski model bondirnih žic integriranega vezja***

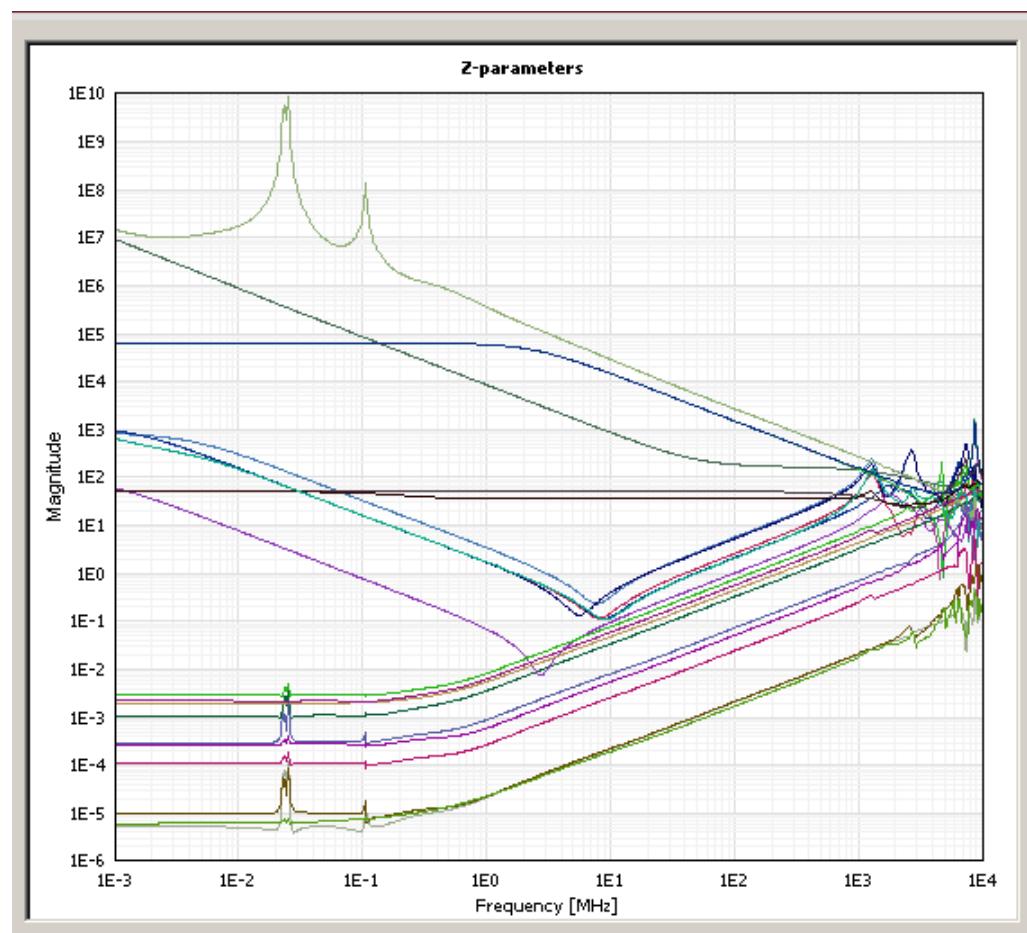
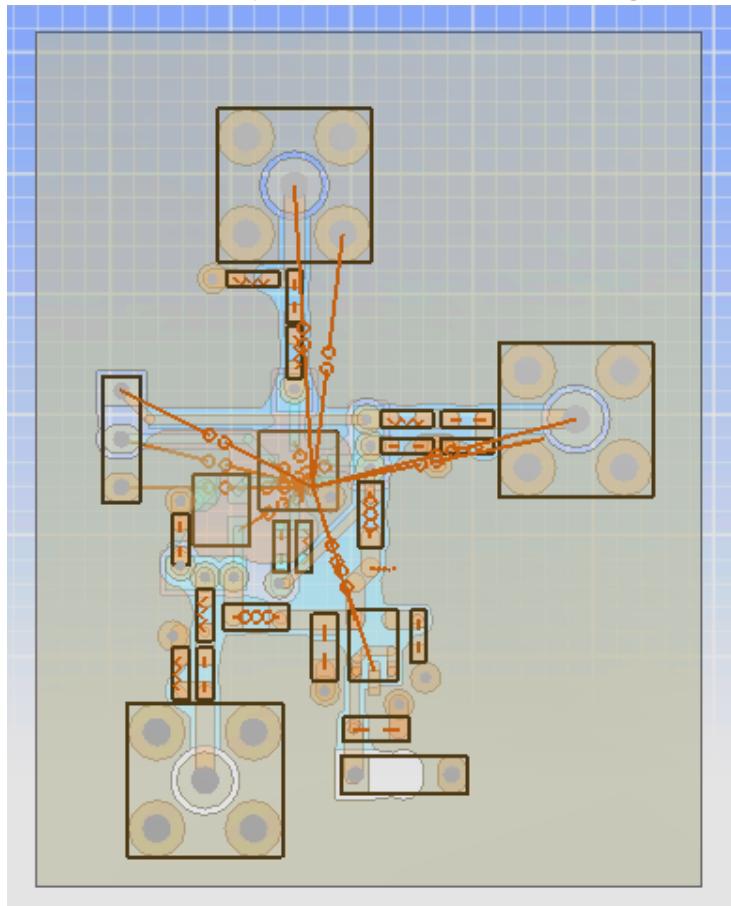
Rezultat simulacije: RLGC matrika bondirnih žic



Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

# EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

## *3D simulacijski model tiskanega vezja*



Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

## EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

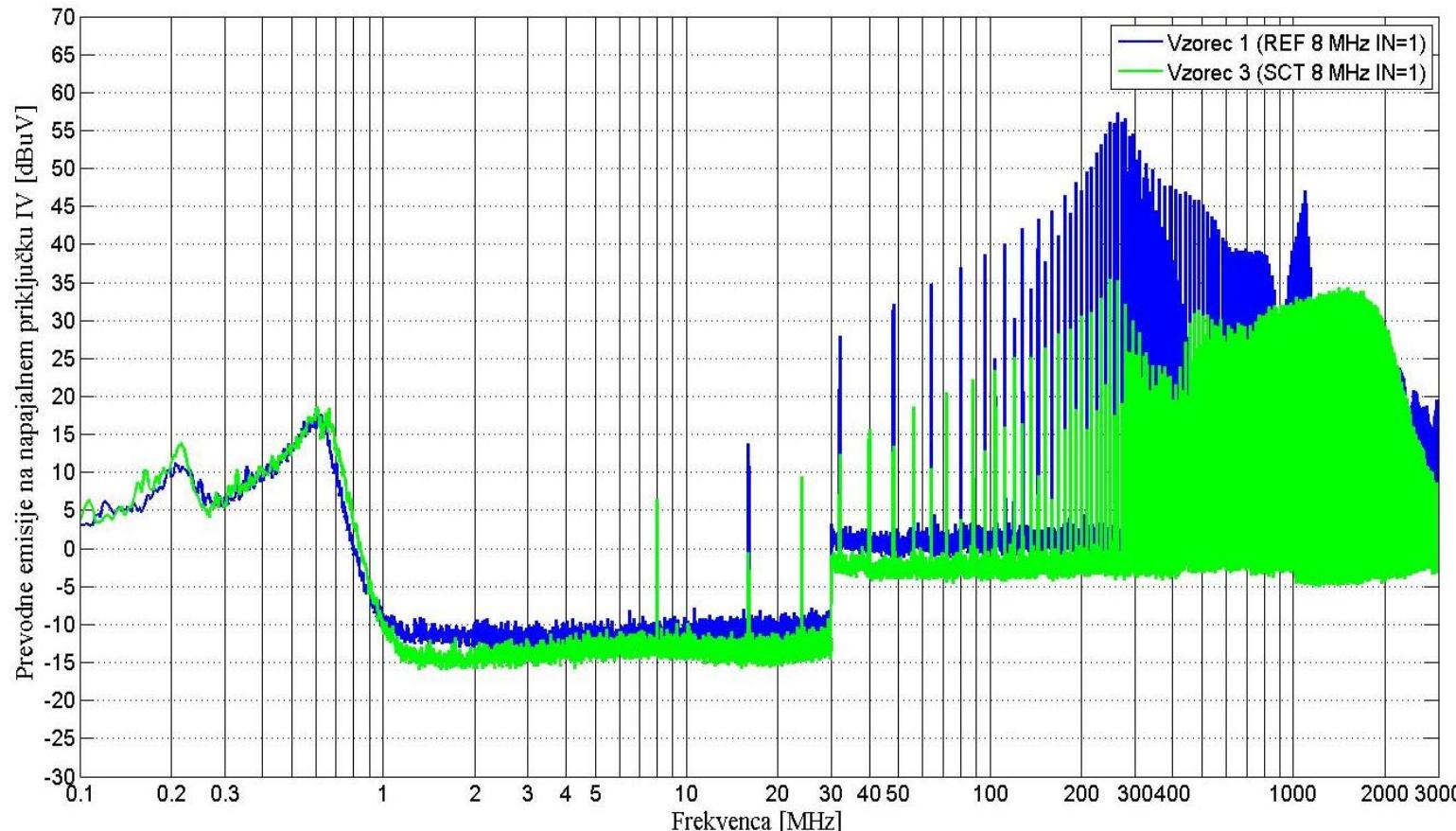
Potreben čas za simulacijo nivojev prevodnih emisij integriranega vezja posameznih modelov v simulatorju:

- model REF verzije integriranega vezja na tranzistorskem nivoju z RC paraziti v časovnem prostoru: **8 h in 55 min (1µs simulacijski čas)**.
- model SCT verzije integriranega vezja na tranzistorskem nivoju z RC paraziti v časovnem prostoru: **35 h 27 min (1 µs simulacijski čas)**.
- ICEM-CE model REF verzije integriranega vezja v časovnem prostoru: **11 min in 17 sec (5µs simulacijski čas)**. Enak čas je bil potreben za ICEM-CE model SCT verzije integriranega vezja.
- ICEM-CE model REF verzije integriranega vezja v frekvenčnem prostoru: **0,84 sec (frekvenčni prostor 8 MHz – 3 GHz)**. Enak čas je bil potreben za ICEM-CE model SCT verzije integriranega vezja.

Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

## EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

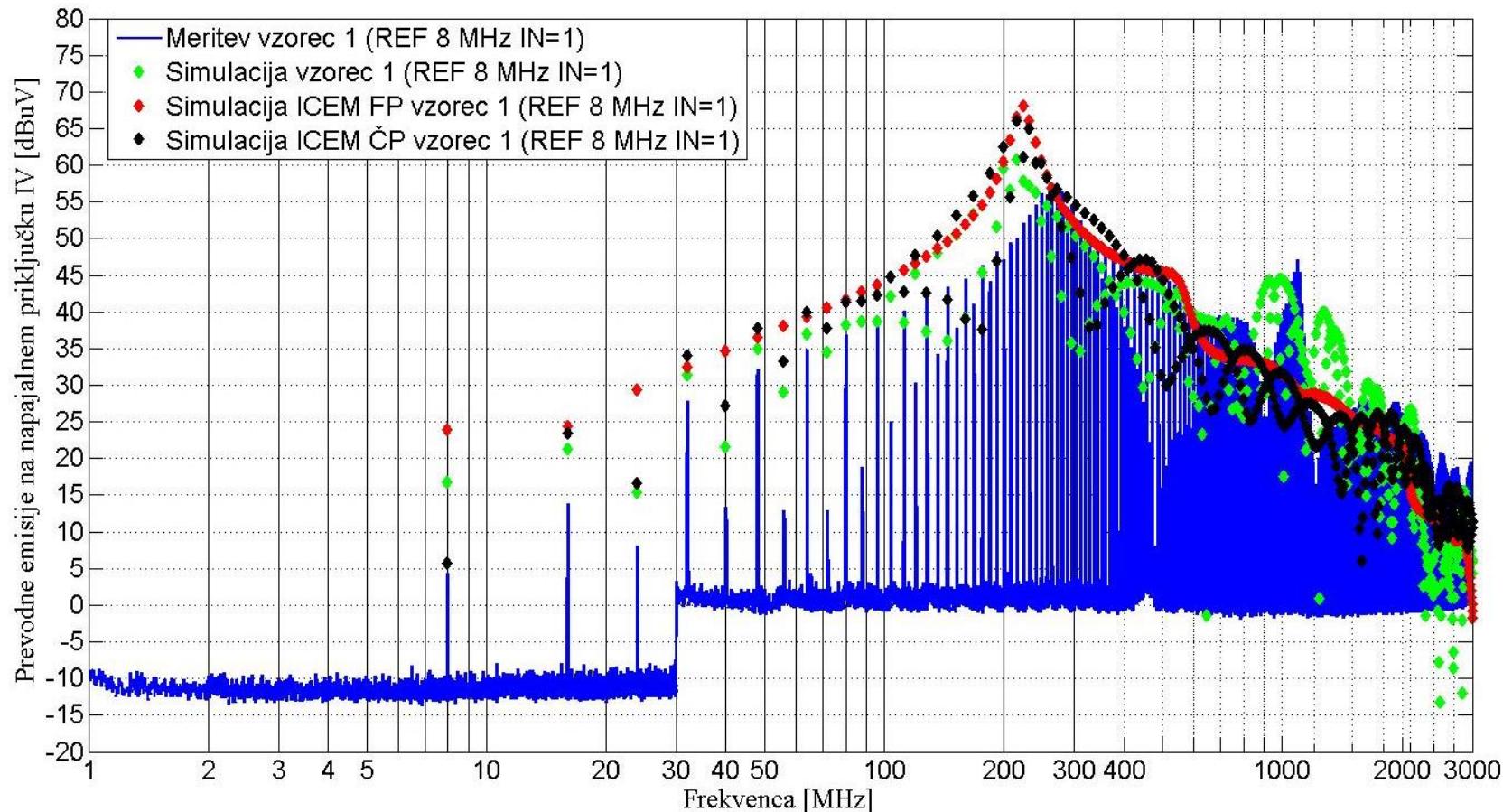
Razlika v izmerjenih prevodnih emisijah med SCT in REF verzijo integriranega vezja



Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

# EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

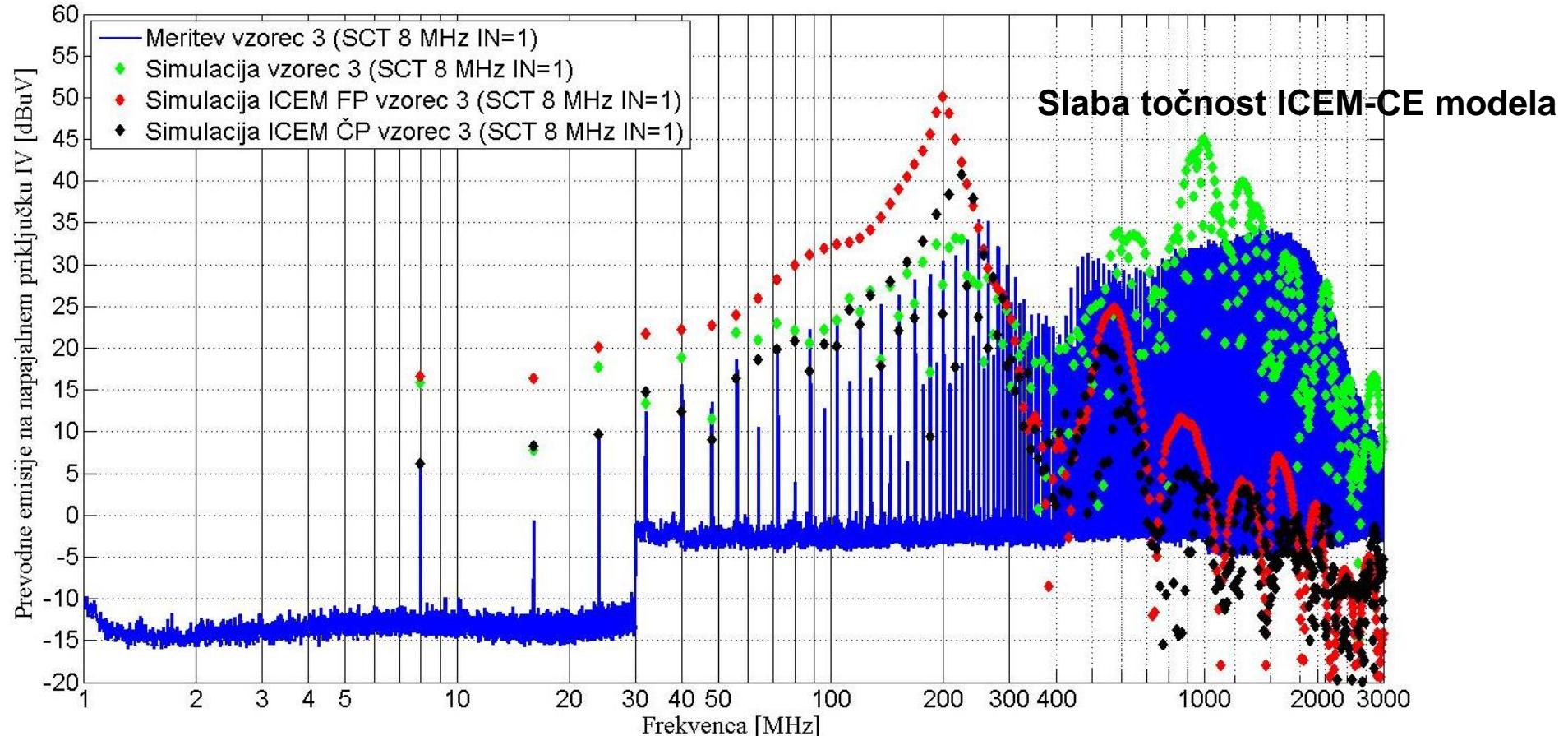
Primerjava rezultatov simulacij z meritvami – napajalni priključek integriranega vezja



Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

# EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

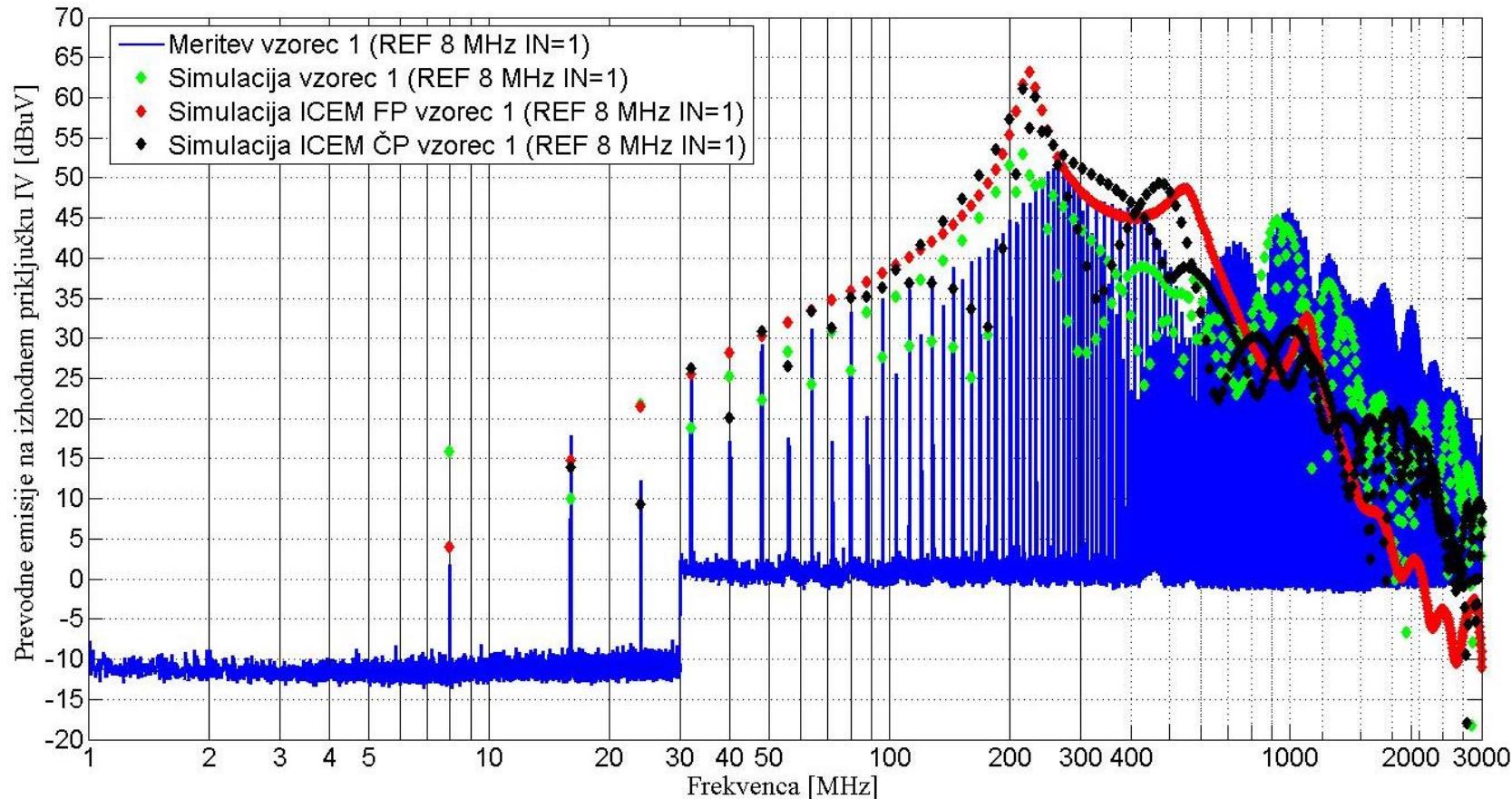
Primerjava rezultatov simulacij z meritvami – napajalni priključek integriranega vezja



Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

# EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

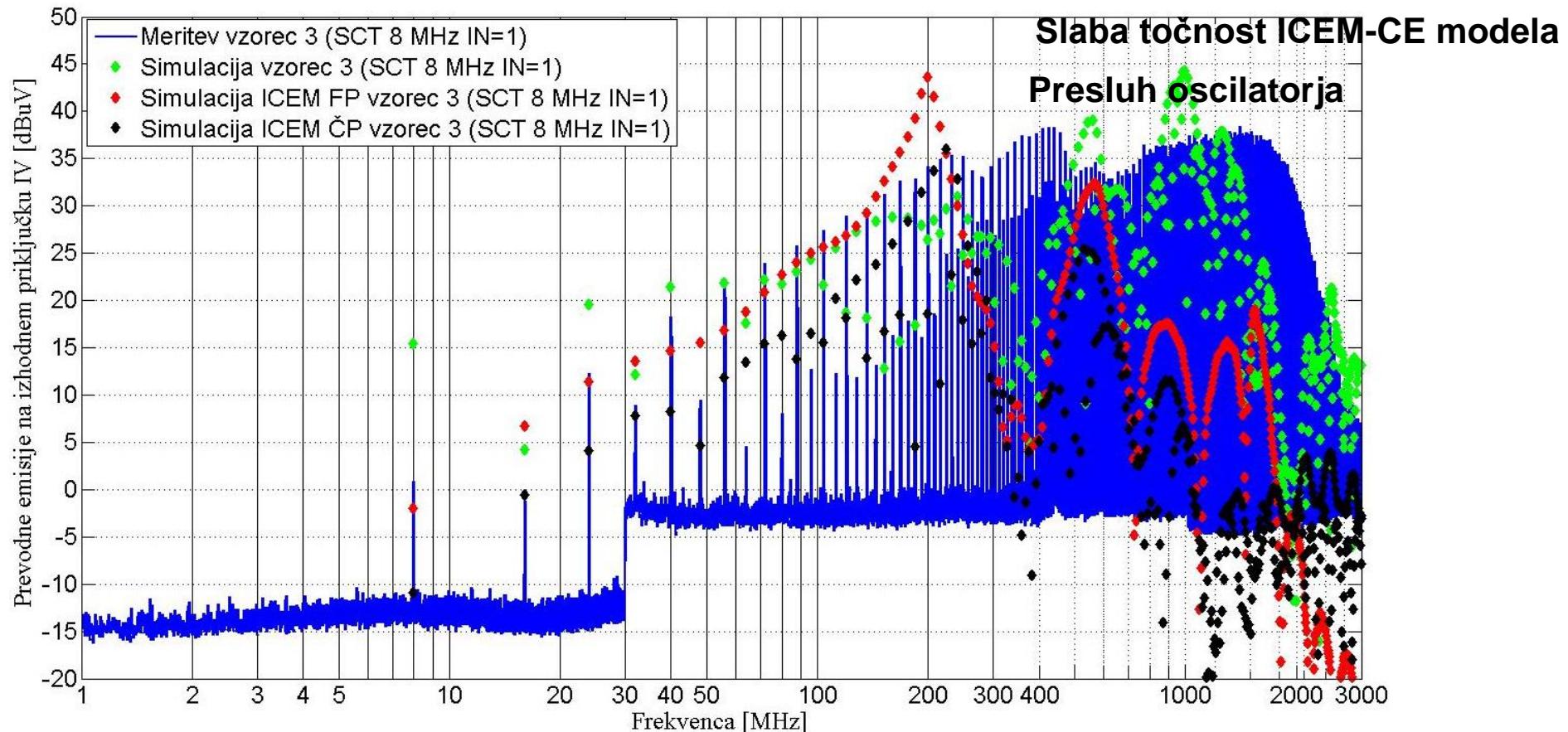
Primerjava rezultatov simulacij z meritvami – izhodni priključek integriranega vezja



Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

# EMC simulacije – prevodne emisije integriranega vezja

Primerjava rezultatov simulacij z meritvami – izhodni priključek integriranega vezja



Vir: Gregor Ergaver – doktorska disertacija

## Prednosti:

- Ocena elektromagnetne združljivosti v času načrtovanja izdelka – koncepta izdelka,
- Reševanje elektromagnetne združljivosti v dobi načrtovanja ali pa testiranja

Hvala za pozornost!  
Vprašanja?