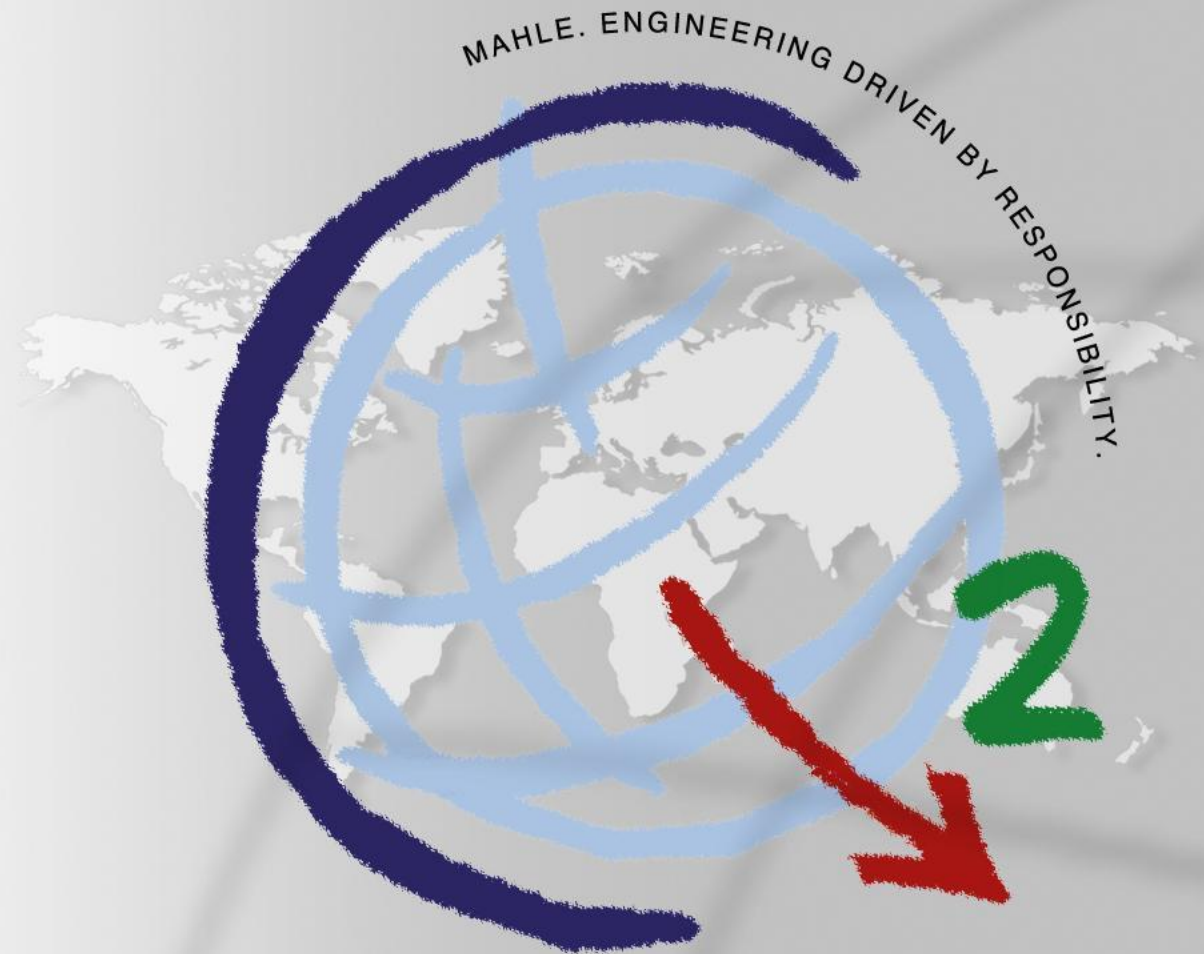


MAHLE Letrika d.o.o.

Gregor Ergaver,
EMC specialist,
MAHLE Letrika EMC laboratory
Ljubljana, 30. 3. 2016



Vsebina

- Predstavitev podjetja MAHLE Letrika d.o.o.
- Pregled produktov
- Predstavitev EMC laboratorija podjetja MAHLE Letrika
- Pregled EMC zahtev za elektroniko v avtomobilski industriji BMW, VW, Daimler
- EMC simulacije, elektromagnetne prevodne emisije, modeli
- Meritev elektromagnetnih prevodnih emisij, delitev DM in CM z dvema metodama
- Meritev elektromagnetnih prevodnih emisij z osciloskopom
- Praktičen primer – analiza elektromagnetnih prevodnih emisij pogonskega sistema za električna vozila



Sedež podjetja

MAHLE Letrika d.o.o.
Polje 15, 5290 Šempeter pri Gorici,
Slovenia

Prodaja v letu 2014: 239.3 milijonov €

Število zaposlenih 2014: 2,488 (povprečno)

Kupci: 1,853 kupcev v 68 državah

Izdelki:



MAHLE LETRIKA je globalni proizvajalec:

zaganjalnikov, alternatorjev,
električnih motorjev & elektronike

**za kmetijsko, gradbeno, transportno
industrijo in avtomobilsko industrijo**

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



MORE AT 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 2014 je zaposloval 66,000 delavcev na 150 proizvodnih lokacijah in 10 večjih raziskovalno razvojnih centrih s prodajo 10 milijard eurov.

Produktna skupina - Motorna elektro oprema (MEO)

alternatorji, zaganjalniki, vžigalne tuljave

MAHLE

Driven by performance

Produkt



Ključni kupci



Aplikacije



Produktna skupina - Pogonski sistemi

električni motorji, krmilniki, stikala, senzorji & resolverji

Produkt



Ključni kupci



Aplikacije



Produktna skupina - Mehatronika

električni motorji, elektronika

MAHLE

Driven by performance

Produkti

Ključni kupci

Aplikacije



nexteer
AUTOMOTIVE


ZF Lenksysteme

Saleri 

 **COMSTAR**

BUSCH
CLEAN  AIR



Produktna skupina – Rešitve za obnovljive vire mikroinverterji, komunikatorji, krmilniki, motorji in generatorji

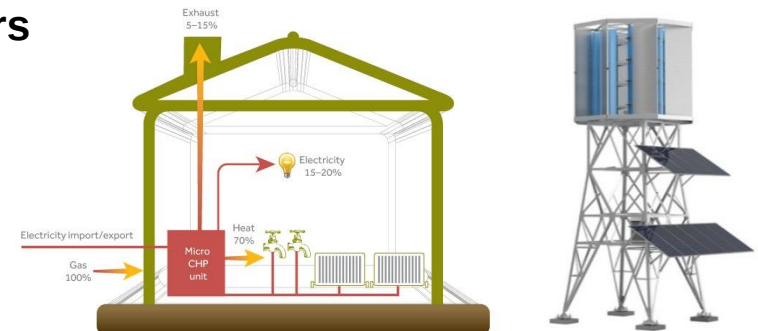
Produkti



Ključni kupci

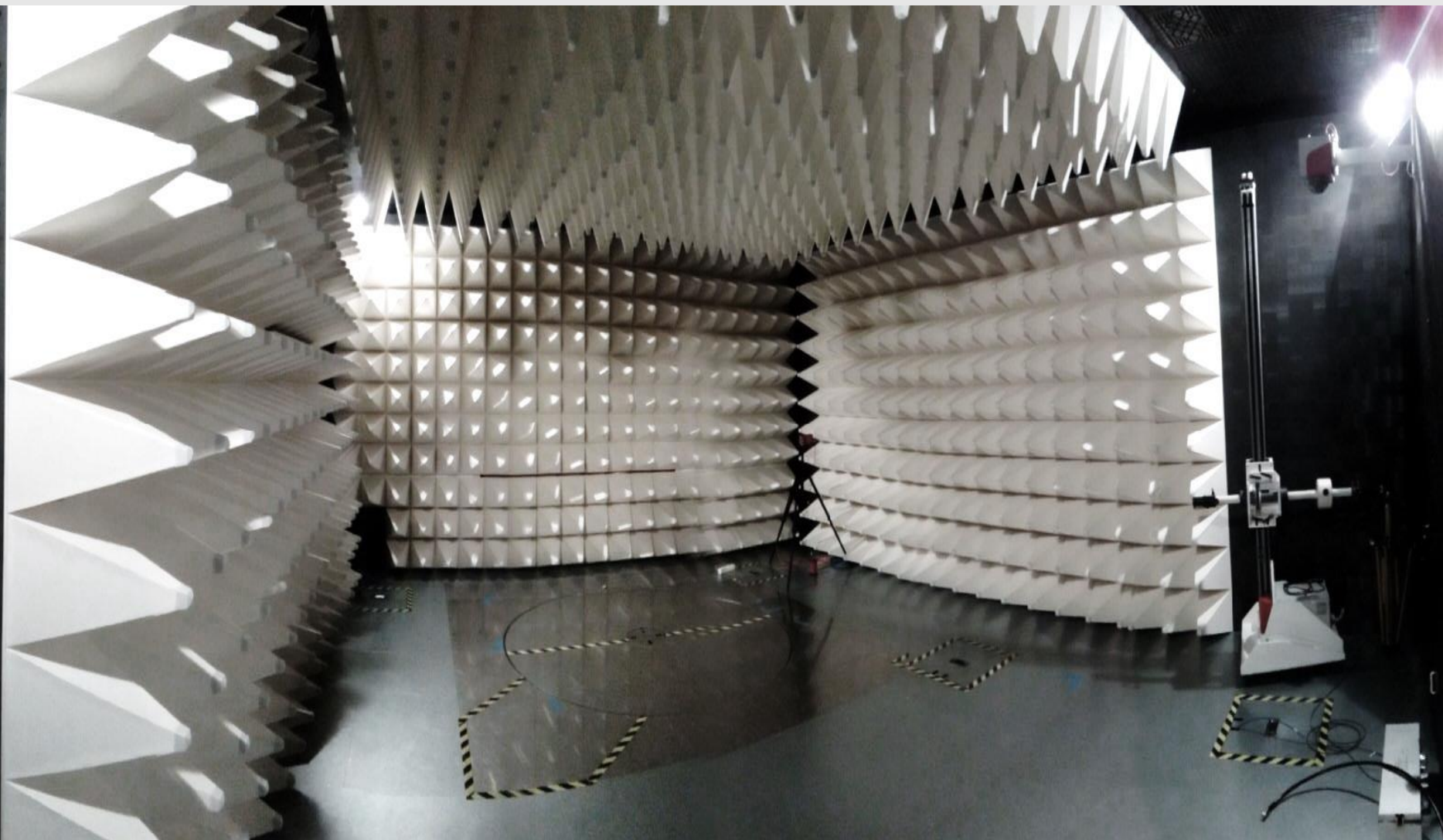
- OEM Solar Inverters
- OEM PV panels
- OEM CHP
- Wholesalers/Distributors
- System integrators
- Installers
- End users/Investors

Aplikacije



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 (ISO/IEC 17025): (MB, VW, BMW, Renault, itd.)
-
- Meritve elektromagnetnih emisij:
 - Prevodne – napetost na LISN vezju [dB μ V],
 - Prevodne – napetost na KSK [dB μ V],
 - Sevalne – z antenami (palična, logaritemska, „rog“) (9 kHz - 6 GHz) [dB μ V/m],
 - Prevodne – z RF tokovnimi kleščami (do 500 MHz) [dB μ 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 μ 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, 330 Ω ali 2k Ω]



■ ***Prednosti uporabe EMC laboratorija MAHLE Letrika***

- Svetovanje med EMC meritvami za iskanje rešitve problema in preizkušanje različnih rešitev med testiranjem.
- EMC laboratorij je posebej opremljen za meritve močnostne elektronike za avtomobilske aplikacije (oprema zdrži visoke tokove do 400 A in visoke napetosti do 1 kV + DC filter do 400A, 1kV za filtriranje stikalnih napajalnikov).
- EMC laboratorij je na novo opremljen za meritve visoko-napetostnih hibridnih ali električnih pogonov (nov CISPR25 standard in nov avtomobilski pravilnik ECE-R10.rev5).
- Izkušnje v načrtovanju in testiranju močnostne elektronike.
- Fleksibilnost pri določanju terminov za testiranje.

EMC zahteve za produkte v avtomobilski industriji

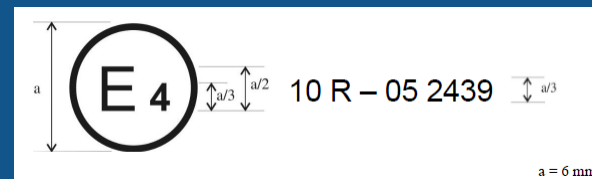
MAHLE

Driven by performance

Testi \ Predpis

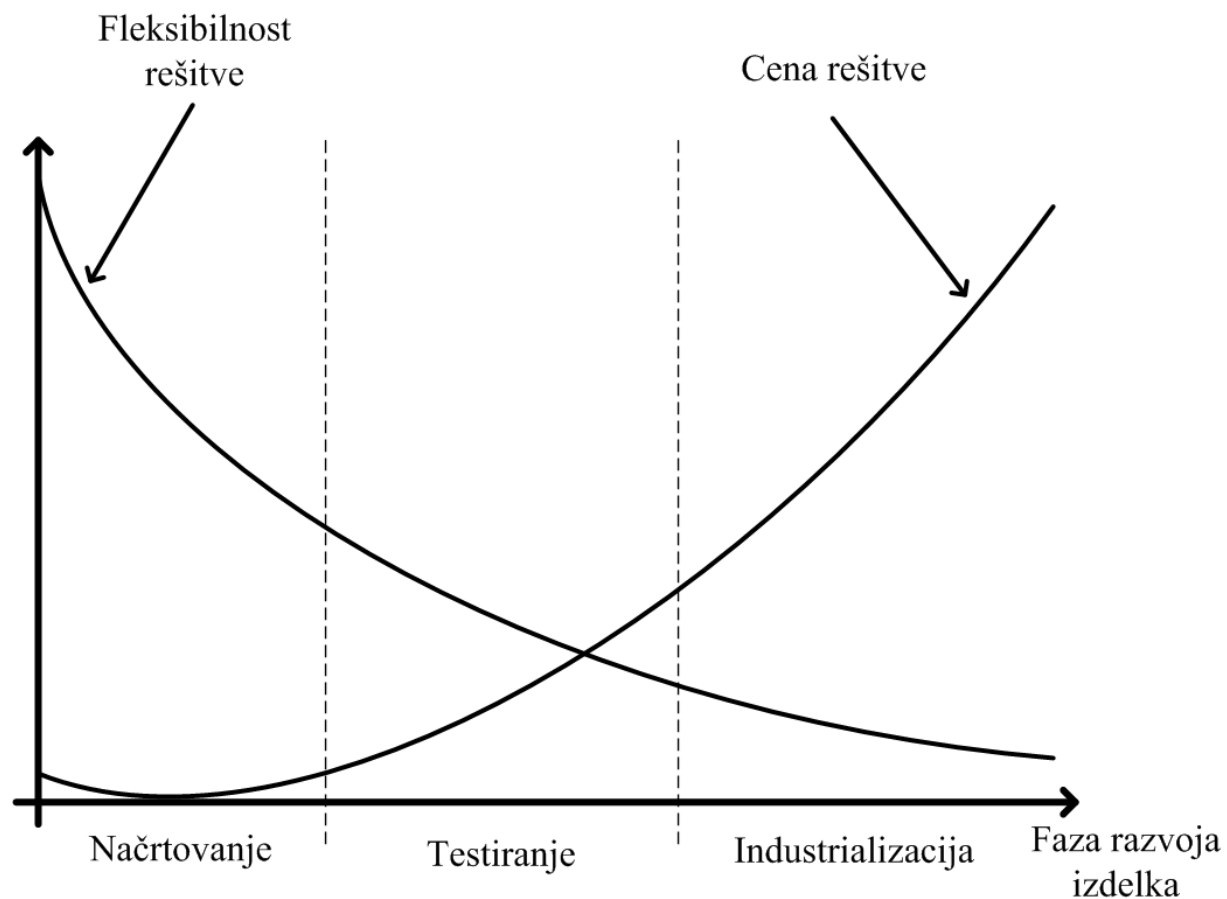
Daimler - MBN 10284-2
Volkswagen - TL81000
BMW - GS95002-2

UNECE-R10.rev5



Prevodne emisije – meritev napetosti na LISN vezju	Nizke limite – Težko dosegljive za stikalne naprave brez filtrov	Ni zahtev
Sevalne emisije – z antenami – nizke limite	Nizke limite 150kHz – 6 GHz – Težko dosegljive za stikalne naprave brez filtrov	Visoke limite samo v frek. pasu 30 MHz – 1 GHz, Ni problemov.
Napetostni prehodni pojavi ob vklopu/izklopu produkta	Ni težav razen za induktivna bremena.	Ni težav razen za induktivna bremena.
Prevodna imunost – Injiciranje toka v ožičenje	do 200 mA - modulacije AM, CW (DBCI in CBCI) Težave brez primernih vhodnih filtrov	do 60 mA - modulacije samo AM (samo CBCI) Navadno brez problemov
Sevalna imunost – z uporabo anten	do 140 V/m - modulacije AM, CW, PM217, PM300 Težave brez primerne layouta	do 30 V/m samo ver pol. antene - modulacije AM, PM217 Navadno brez problemov
Sevalna imunost – nizko frekvenčno magnetno polje	do 3000 A/m, do 30 kHz Težave le za naprave občutljive na magnetno polje	Ni zahtev.
Prehodni pojavi na napajanju	Višje amplitude in strožje zahteve Problemi za krmilnike (SW + HW reseti, čudna stanja)	Navadno brez problemov
Prehodni pojavi na signalno/podatkovnem ožičenju	Problemi za senzorje.	Ni zahtev.
Elektrostatične razelektritve – pakiranje in rokovanje	Do 8kV kontaktno, priključki, do 15 kV , zračno – preboj izolacije	Ni zahtev.
Elektrostatične razelektritve - med delovanjem	Odpoved integriranih vezij brez zaščit (C, transil)	Ni zahtev.

■ Zakaj simulirati?



- ***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

■ **Pasti EMC simulacij**

- *Vrne rezultate – kako jih ovrednotiti?*
- *Kritično analiziranje rezultatov*
- *Dobro poznavanje merilnih postavitev za izdelavo simulacijskih modelov*
- *Navadno zelo detajlno modeliranje -> slaba konvergenca, numerične napake*
- *Potrditev rezultatov simulacij:*
 - *Simulacija z vsaj dvema različnima metodama (FEM-MKE, BEM-MRE),*
 - *VEDNO - primerjava rezultatov simulacij z meritvami – STIK Z REALNOSTJO*

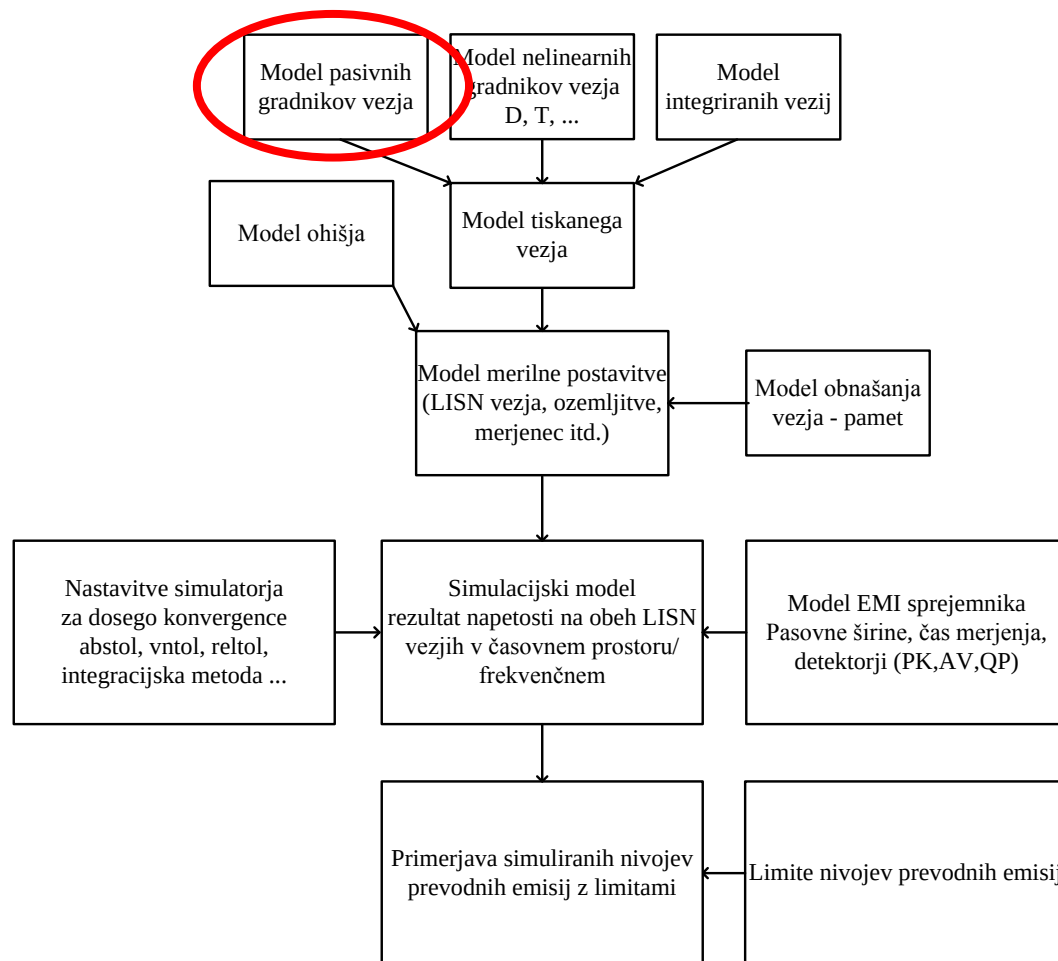
■ Enote veličin v EMC meritvah/simulacijah

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	$\frac{dB\mu A}{m}$	$H\left[\frac{dB\mu A}{m}\right] = 20\log_{10}\left(\frac{H[A/m]}{1\mu A/m}\right)$

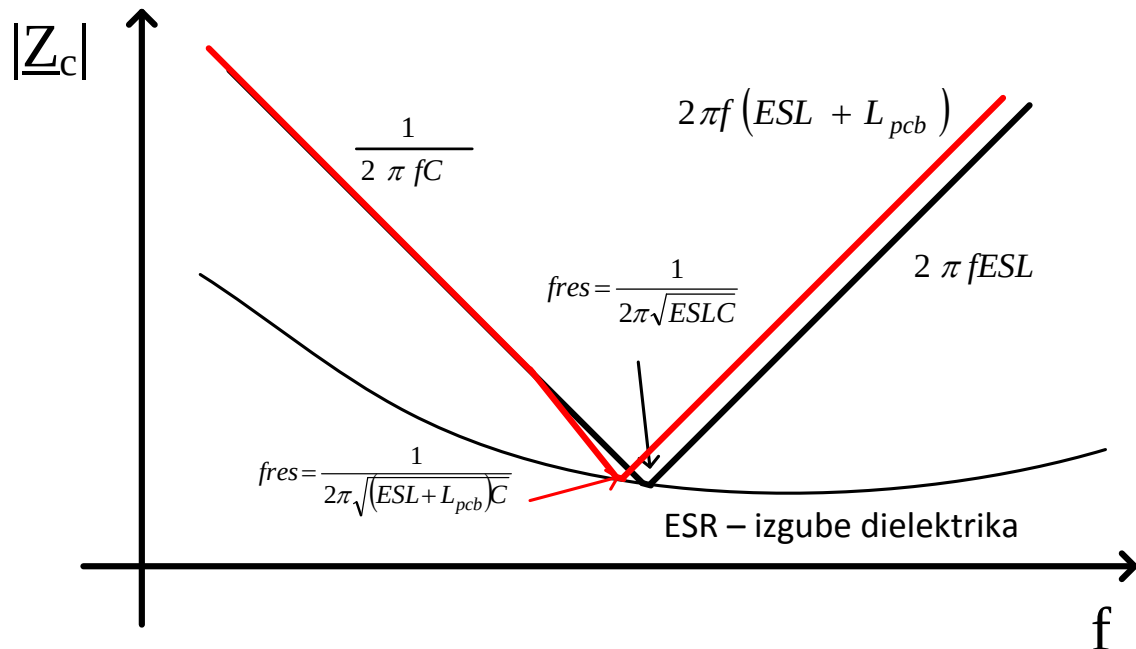
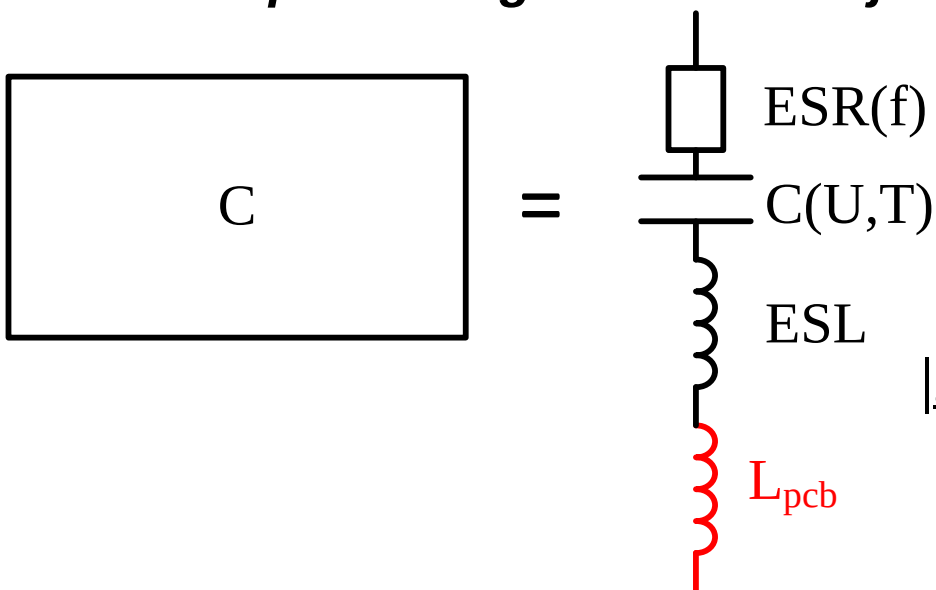
In podobne enote veličin ...

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

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

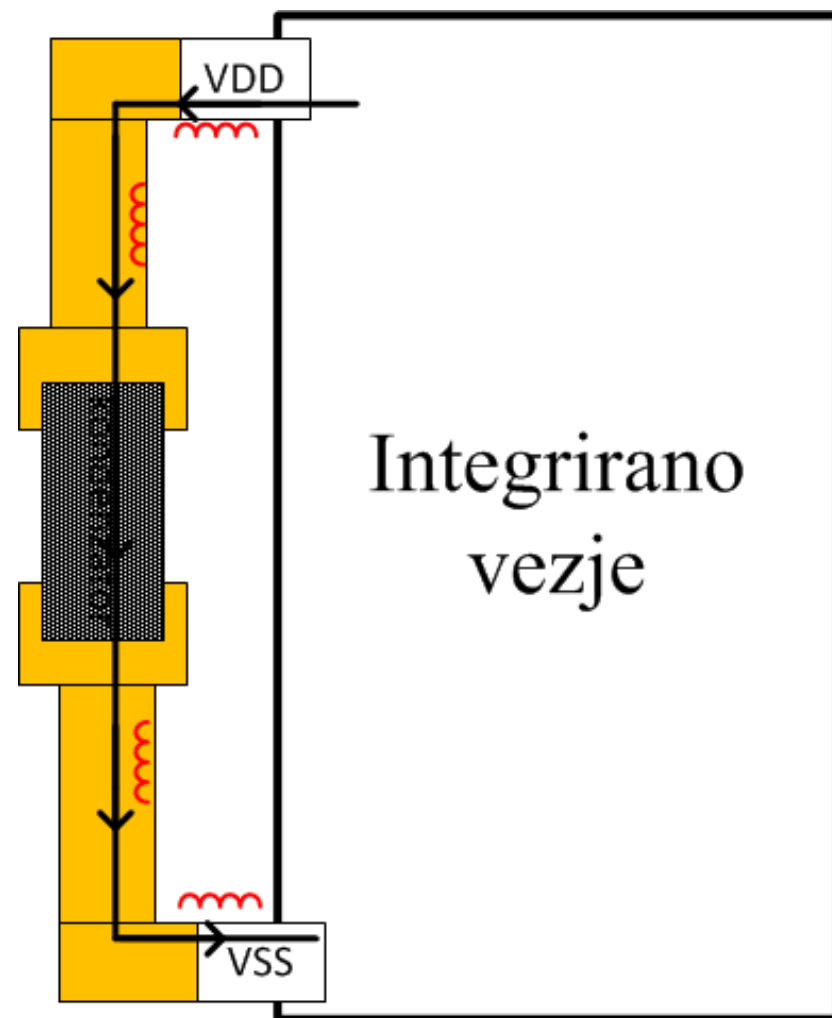


Modeli pasivnih gradnikov vezij - C



Modeli pasivnih gradnikov vezij - C

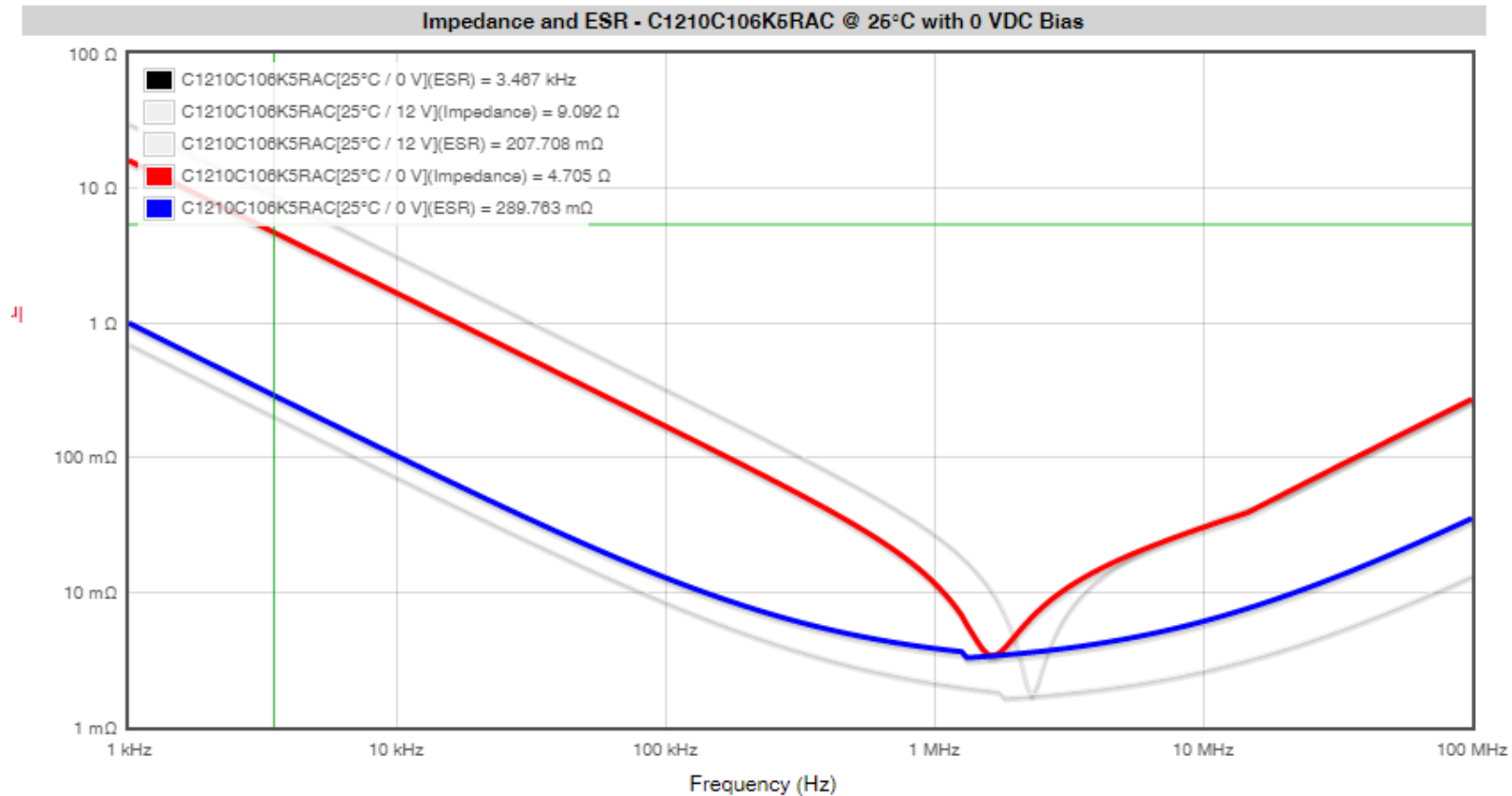
Poveži blokirni kondenzator čim bližje izvoru, dva sloja tiskanine zmanjšata induktivnost povezave, pravilna postavitvev lahko izniči induktivnost vezja in zmanjša induktivnost kondenzatorja



EMC simulacije

Modeli pasivnih gradnikov vezij – C (orodje: K-SIM) napetostni bias

- Primer: SMD-MLCC, 10 μ F, 1210, X7R, 50VDC, Automotive Grade –
- $Z(f)$ in $ESR(f)$ pri 0VDC, 12VDC pri 25°C



Modeli pasivnih gradnikov vezij – C (orodje: K-SIM) napetostni bias

- Zakaj se manjša kapacitivnost SMD-MLCC z višanjem napetosti?

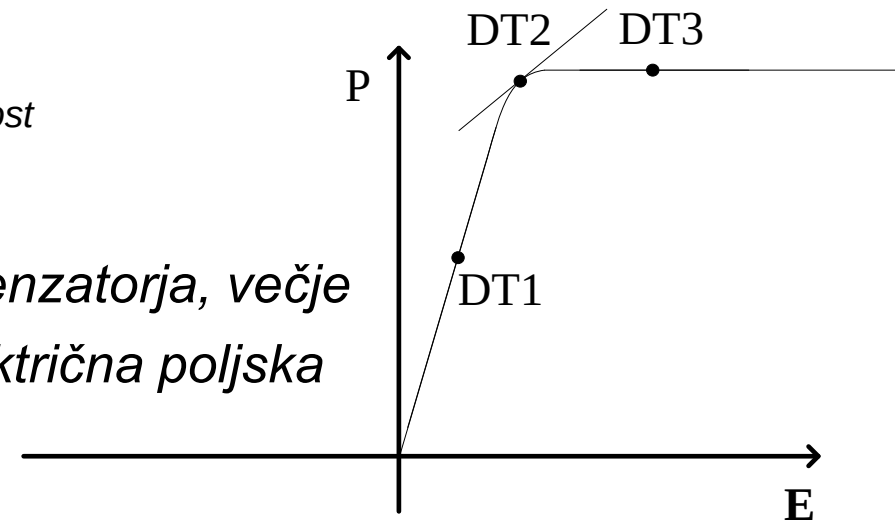
- $$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r(E) A}{d}$$

- $$D = \varepsilon_0 E + P = \varepsilon_0 (1 + \chi_e) E = \varepsilon_0 \varepsilon_r E$$

- $\chi_e \dots$ električna susceptibilnost, $\varepsilon_r \dots$ relativna permeabilnost

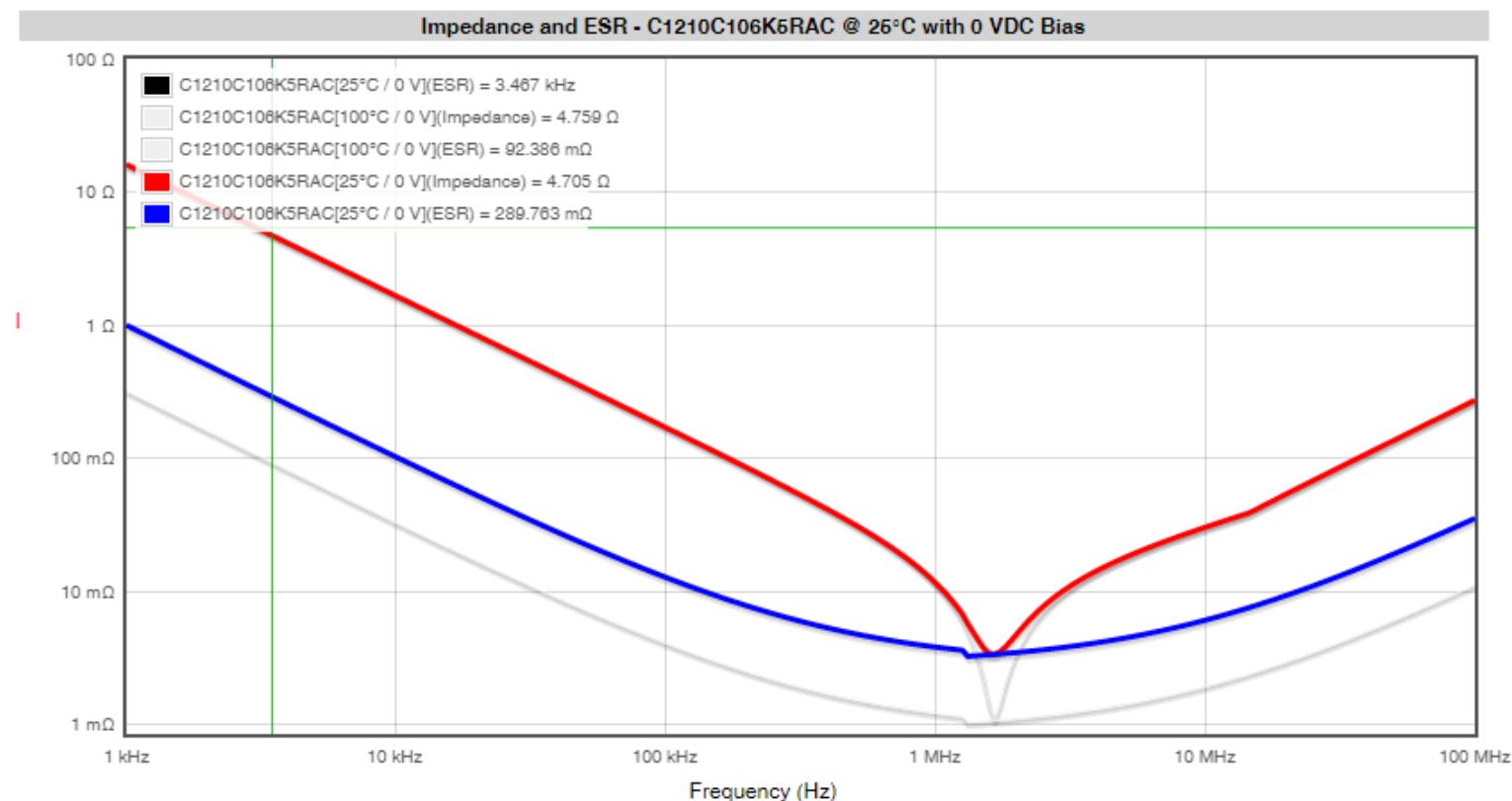
- $$\chi_e = \frac{dP}{dE}$$

Večja ohišja ali višje nazivne napetosti kondenzatorja, večje debeline dielektrika d posledično manjša električna poljska jakost $E = \frac{U}{d}$ kasnejše nasičenje

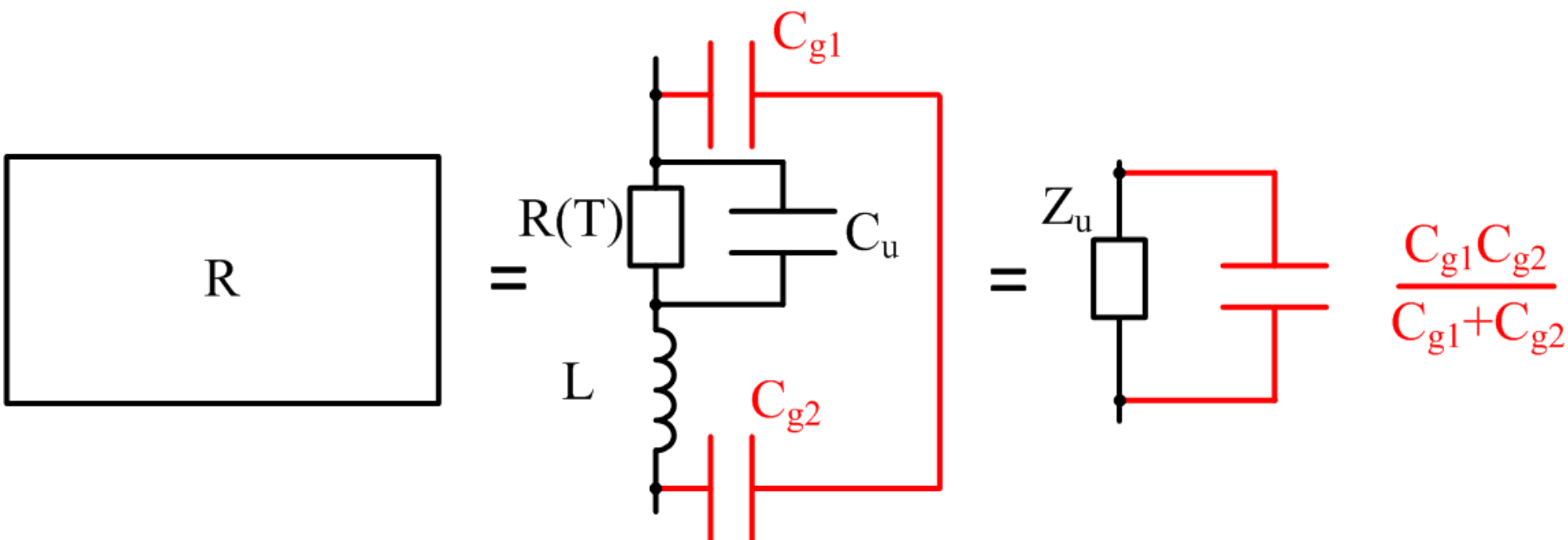


Modeli pasivnih gradnikov vezij – C (orodje: K-SIM)

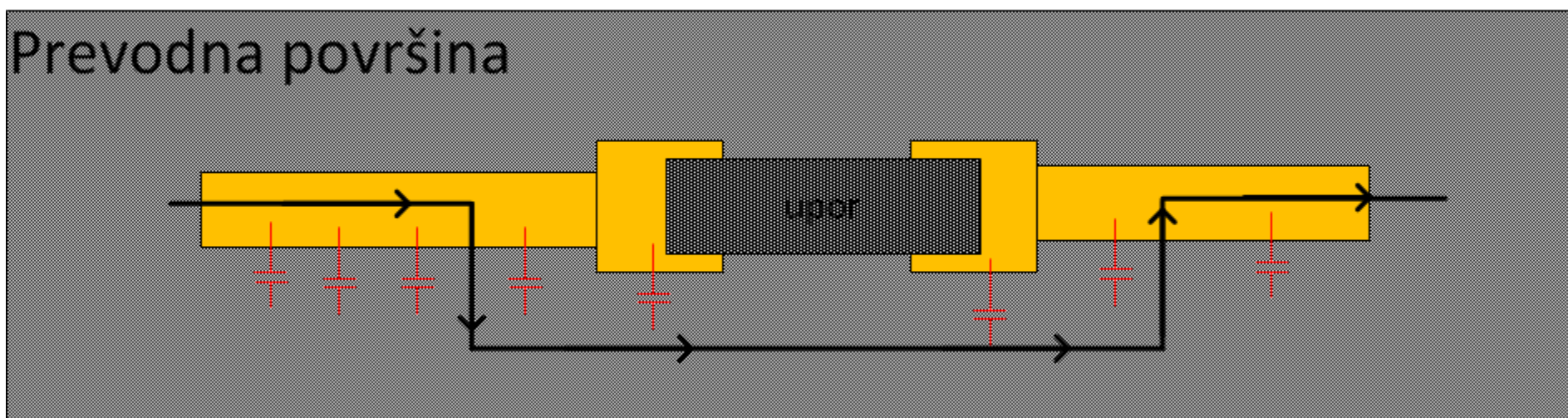
- Primer: SMD, 10 μ F, 1210, X7R, 50VDC, Automotive Grade –
- $Z(f)$ in $ESR(f)$ pri 25 $^{\circ}$ C in 100 $^{\circ}$ C pri 0VDC



Modeli pasivnih gradnikov vezij - R



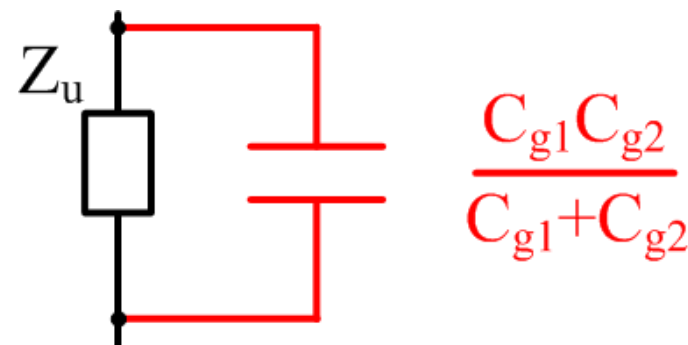
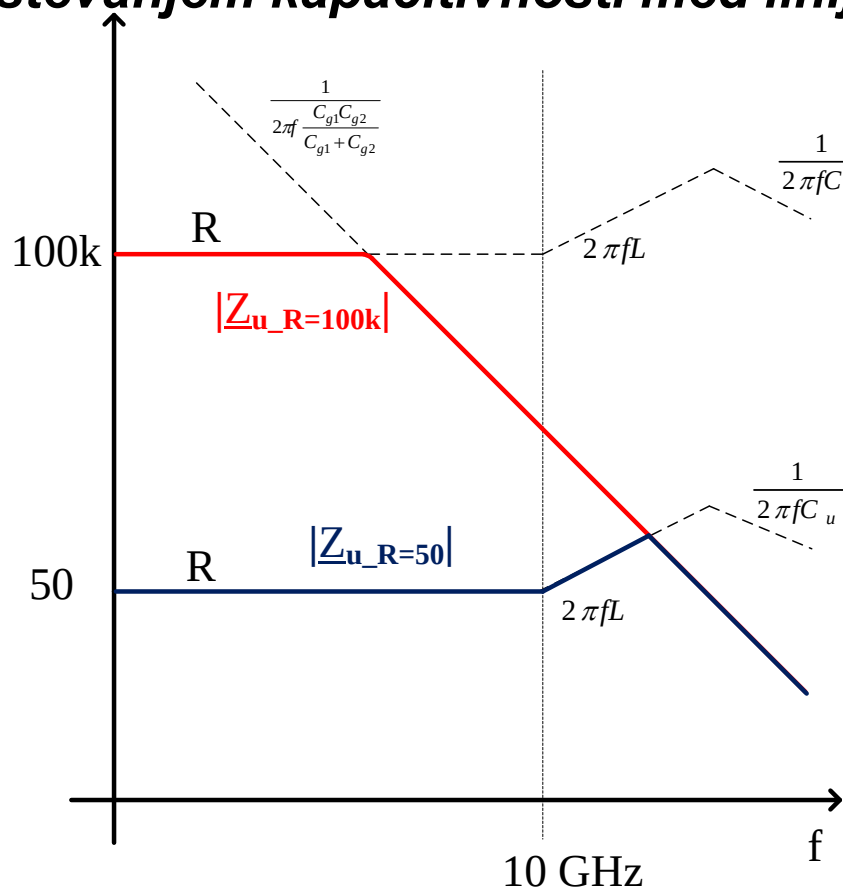
Modeli pasivnih gradnikov vezij - R



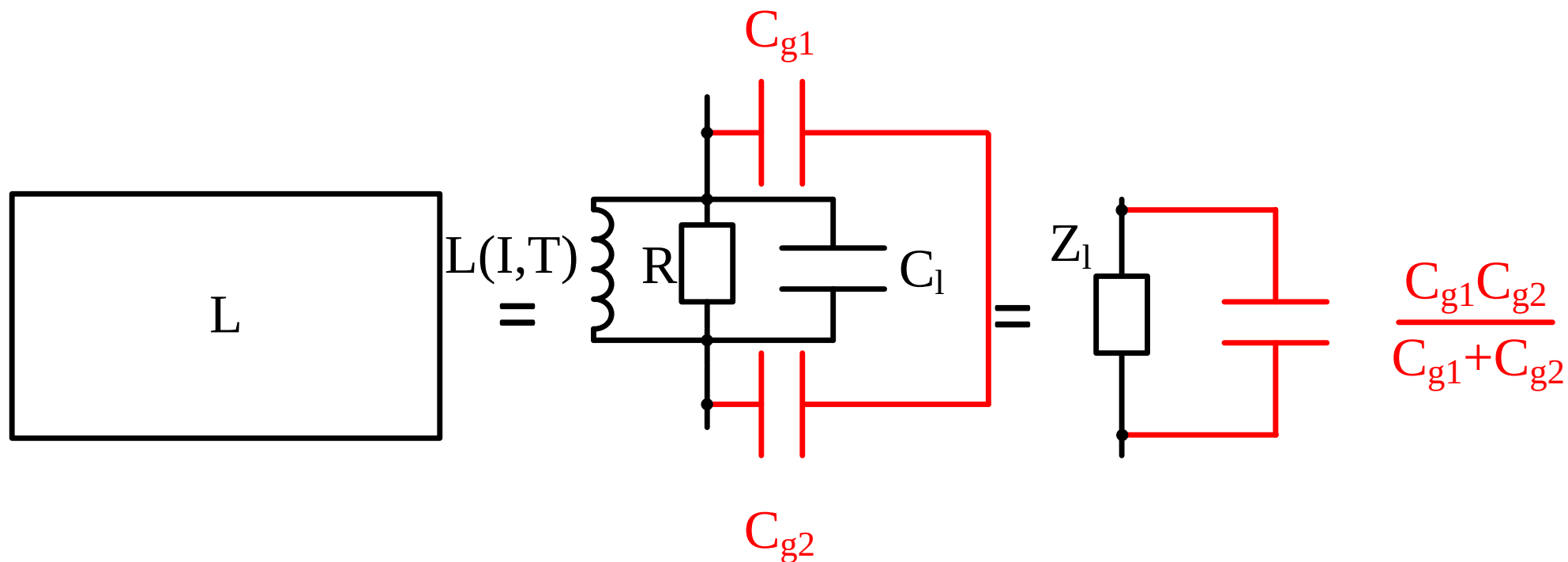
Posebej kritično pri visokoohmskih uporih – saj je impedanca parazitnih kapacitivnosti primerljiva z upornostjo upora

Modeli pasivnih gradnikov vezij – R

- Primer impedanc SMD uporov 0402,0603 različnih upornosti z upoštevanjem kapacitivnosti med linijami upora in prevodno podlago

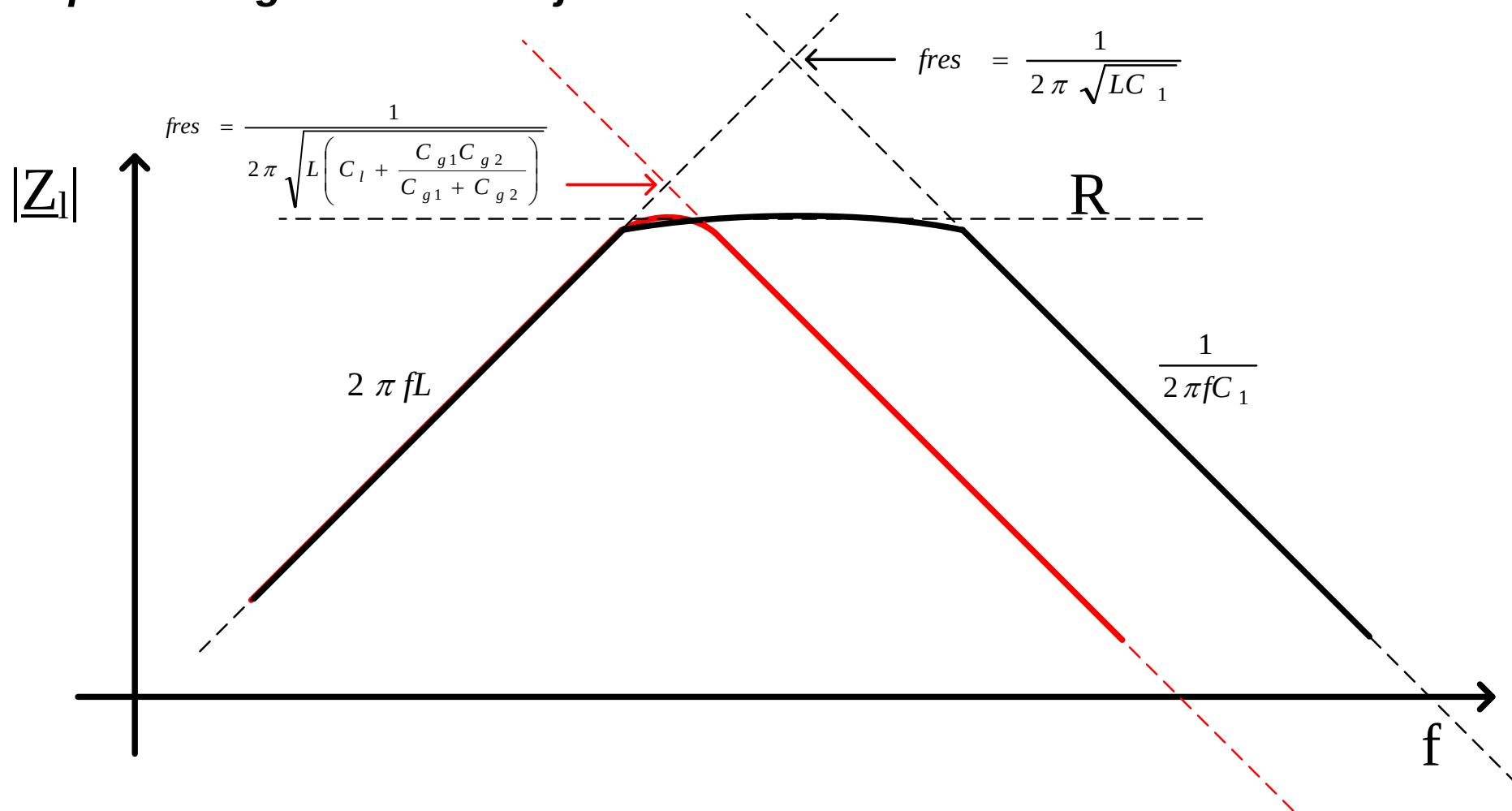


Modeli pasivnih gradnikov vezij - L



Enako kot pri uporabi, ima kapacitivnost med linijama dušilke (ferit beada) in prevodno ploščo dominantno vlogo pri impedanci tuljave pri visokih frekvencah

Modeli pasivnih gradnikov vezij - L



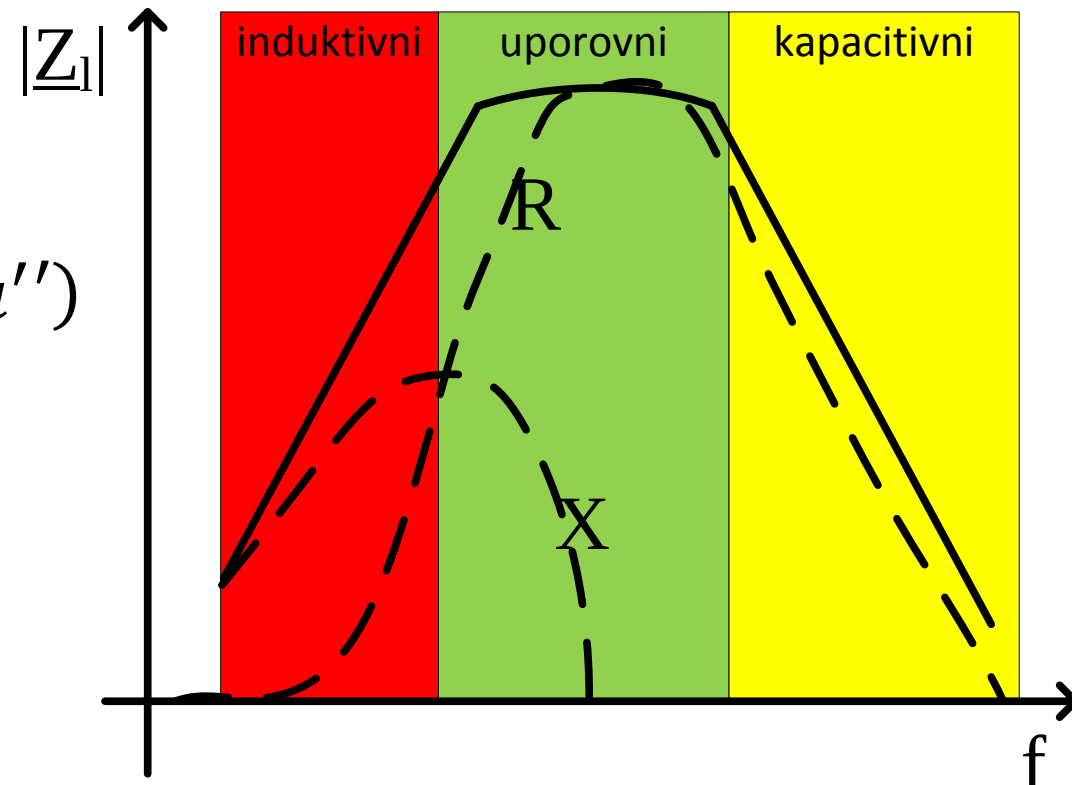
EMC simulacije

Modeli pasivnih gradnikov vezij – L

- EMI magnetni materiali – kompleksna permeabilnost
- Izkoriščamo rezistivni del karakteristike, kjer se energija troši, v induktivnem delu se le prenaša – oscilacije
- Impedanca dušilke s kompleksno permeabilnostjo

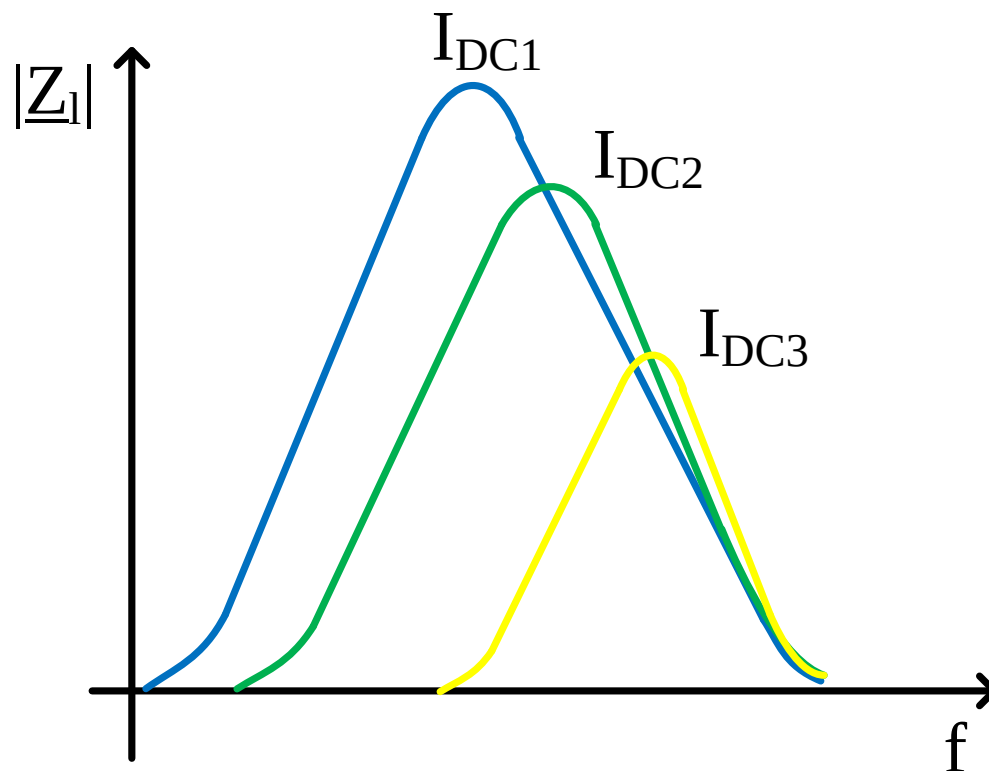
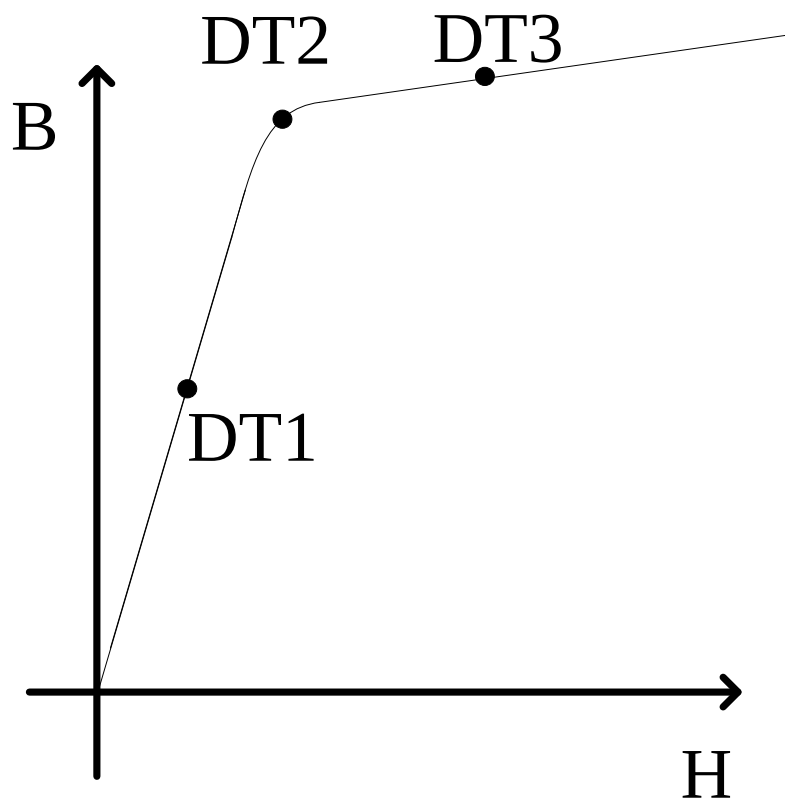
$$Z_l = R + jX = j\omega L_0(\mu' - j\mu'')$$

$$R = \omega L_0 \mu''; X = \omega L_0 \mu'$$

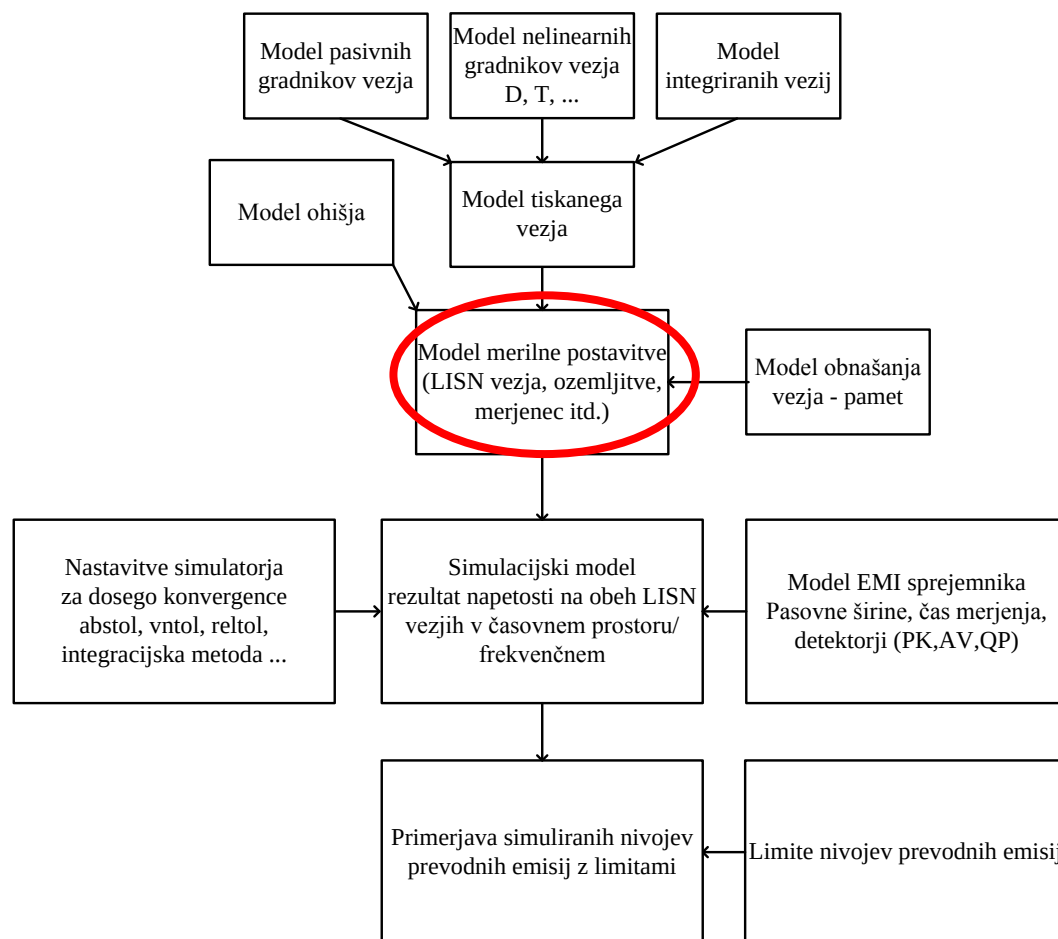


Modeli pasivnih gradnikov vezij – L

- **Primer: nasičenje materiala – večje magnetenje $H \rightarrow$ manjša permeabilnost posledično manjša impedanca dušilke (ferit beada)**

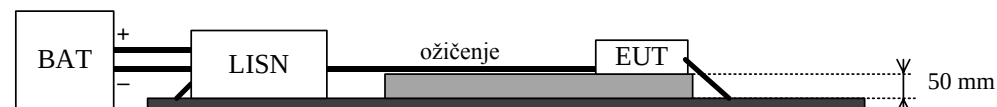


Osnovni model/postopek simulacije prevodnih emisij – napetosti na LISN vezjih

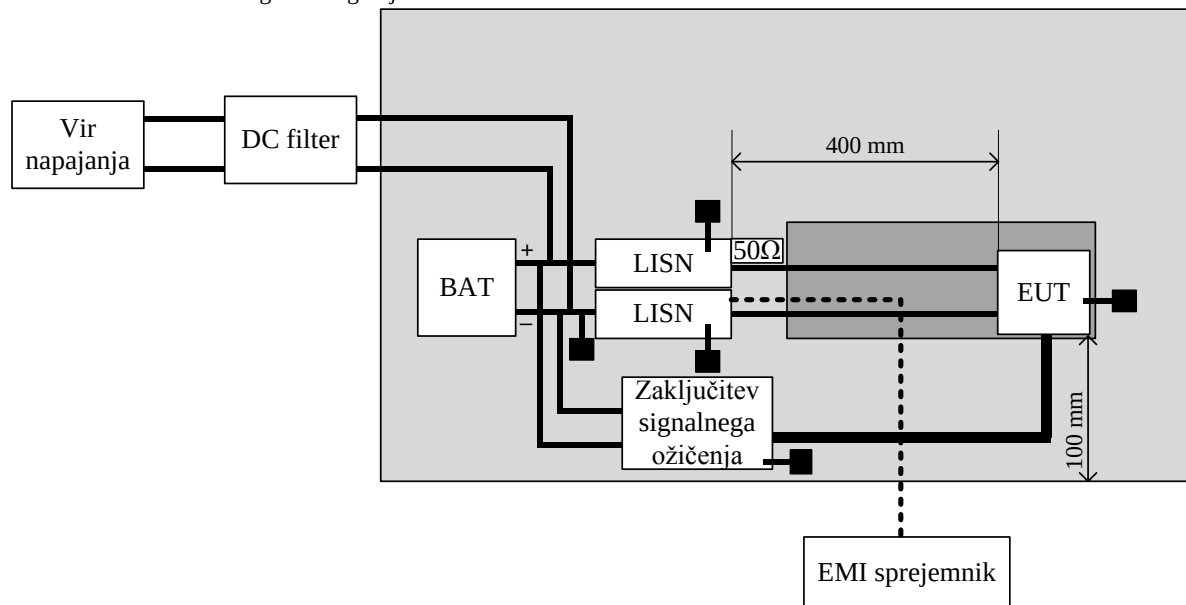


Model merilne postavitve za merjenje elektromagnetnih prevodnih emisij elektrone za avtomobilsko industrijo - CISPR25 ali EN55025

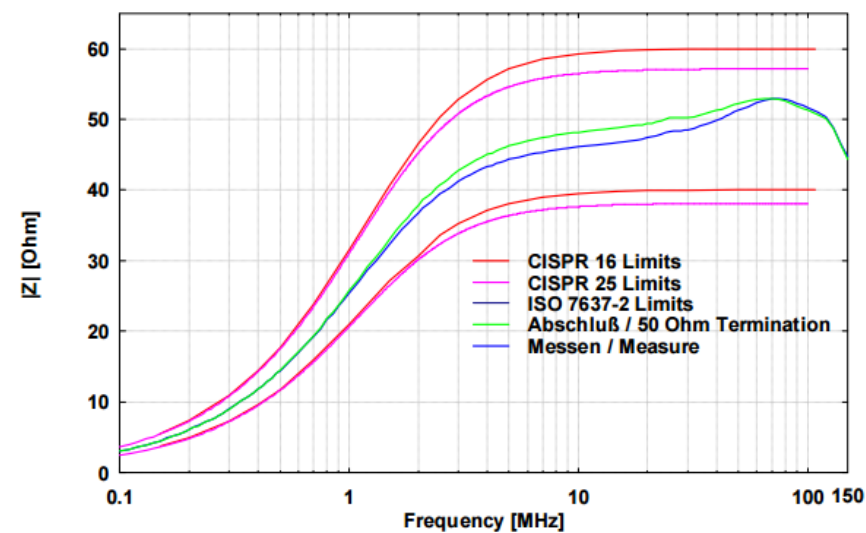
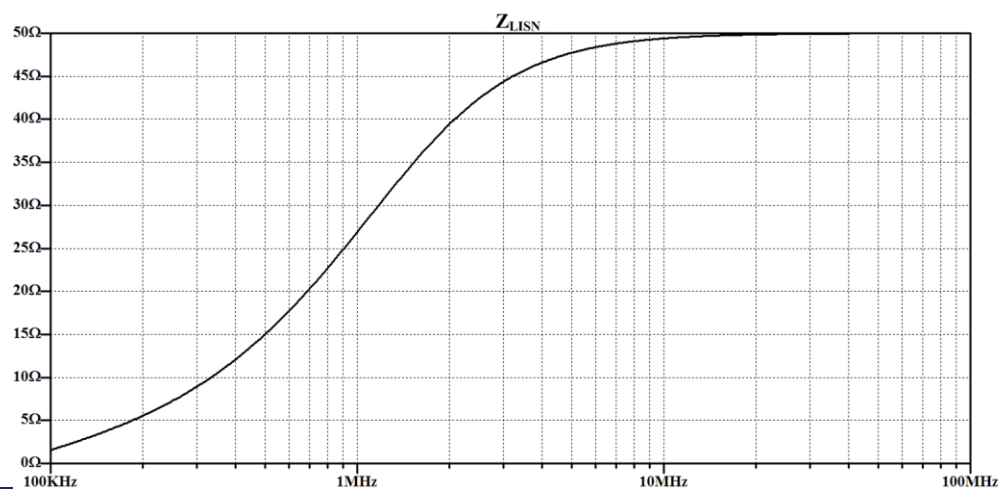
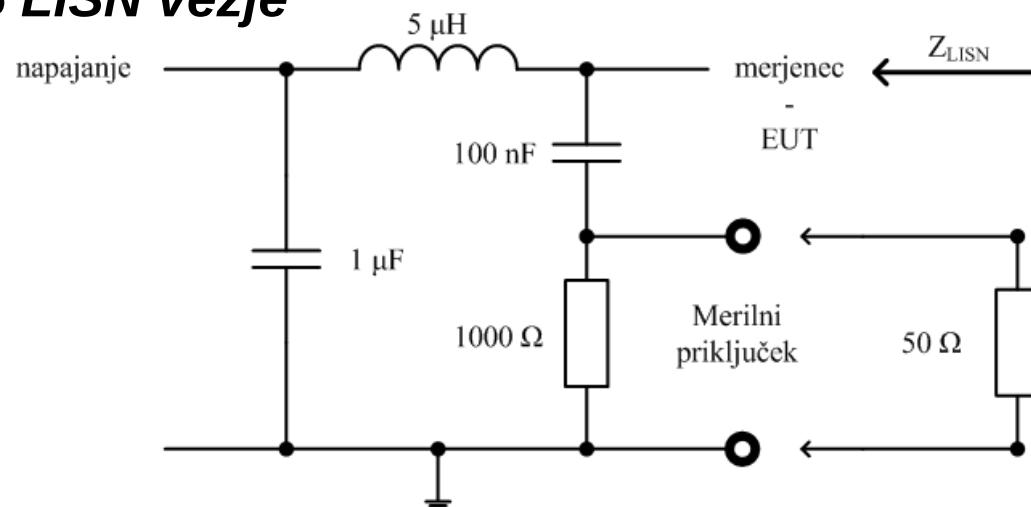
Pogled s strani



Pogled od zgoraj

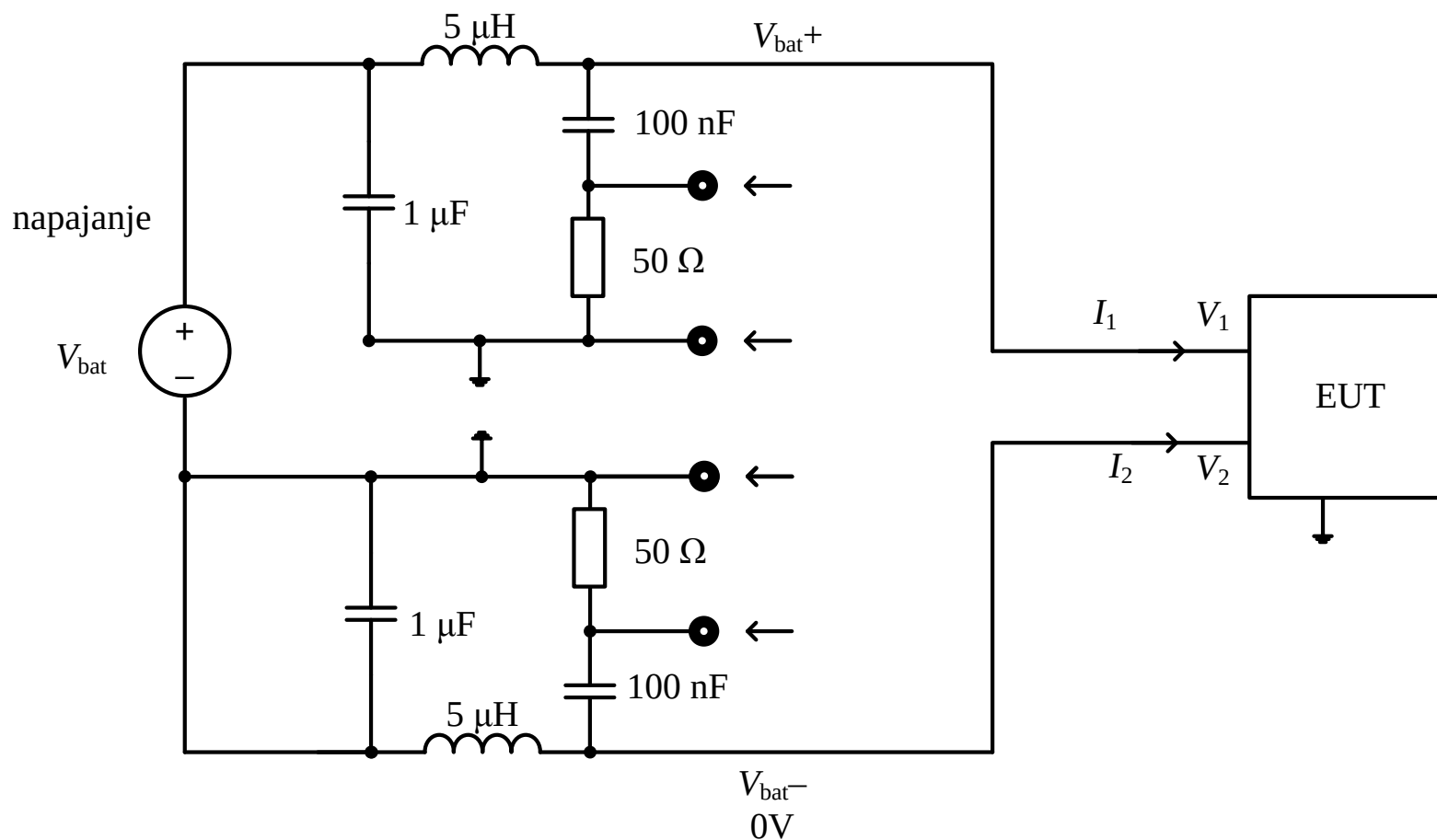


Model merilne postavitve – CISPR 25 LISN vezje



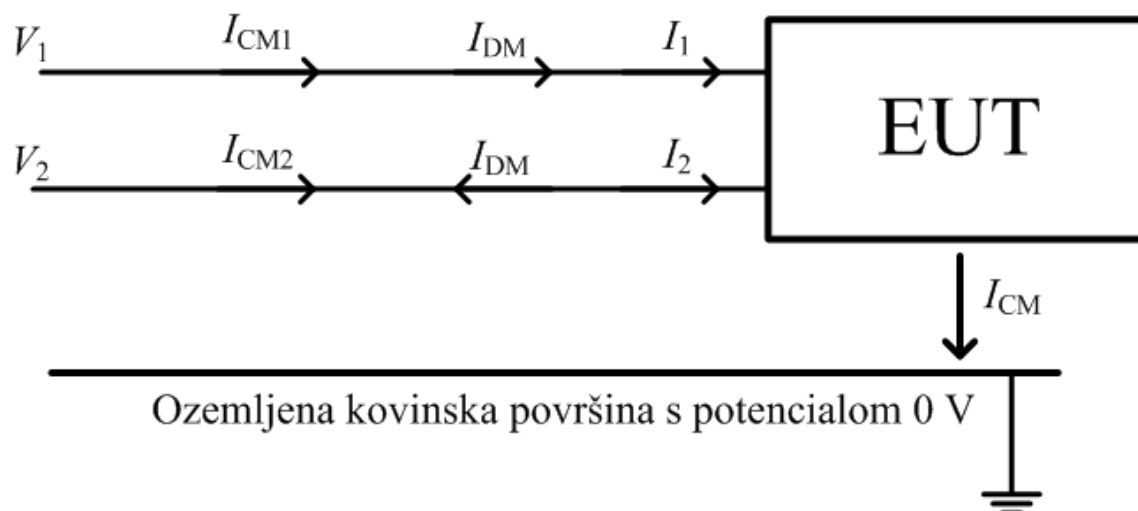
Model merilne postavitve

— Nadomestno SPICE vezje



Model merilne postavitve

– Sofazni, protifazni tokovi in napetosti



$$V_1 = V_{DM} + V_{CM}$$

$$V_2 = V_{CM} - V_{DM}$$

$$V_{CM} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$V_{DM} = \frac{V_1 - V_2}{2}$$

$$I_1 = I_{DM} + I_{CM1}$$

$$I_2 = I_{CM2} - I_{DM}$$

$$I_{CM} = I_1 + I_2$$

$$I_{DM} = \frac{I_1 - I_2}{2}$$

■ **Kdaj izvajati EMC meritve?**

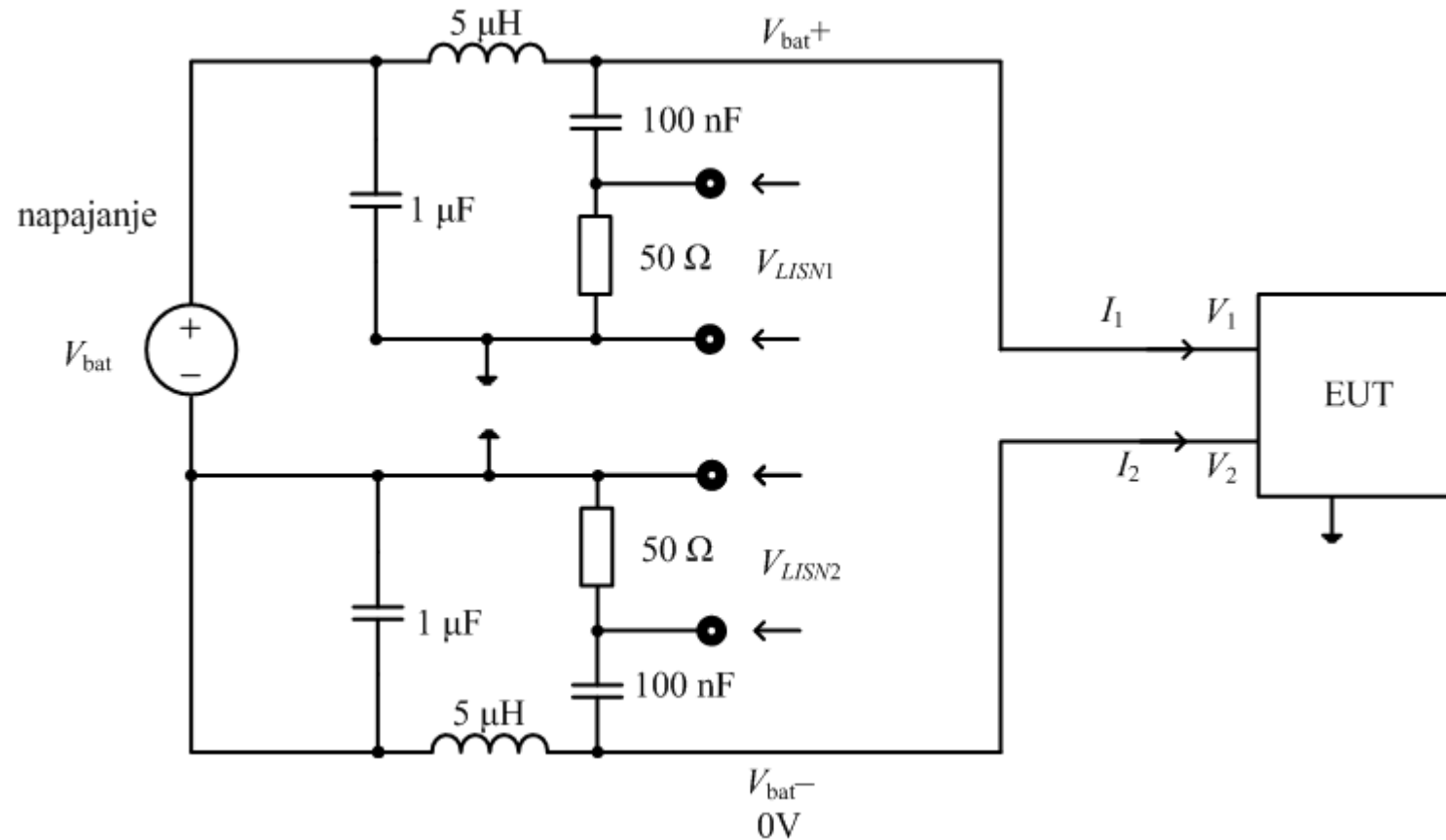
- *Ko so na voljo prvi prototipi – A vzorci*
- *Prej kot se izvede meritev – cenejše so realizacije EMC izboljšav*

■ **Kako vemo kako znižati nivoje elektromagnetnih prevodnih emisij?**

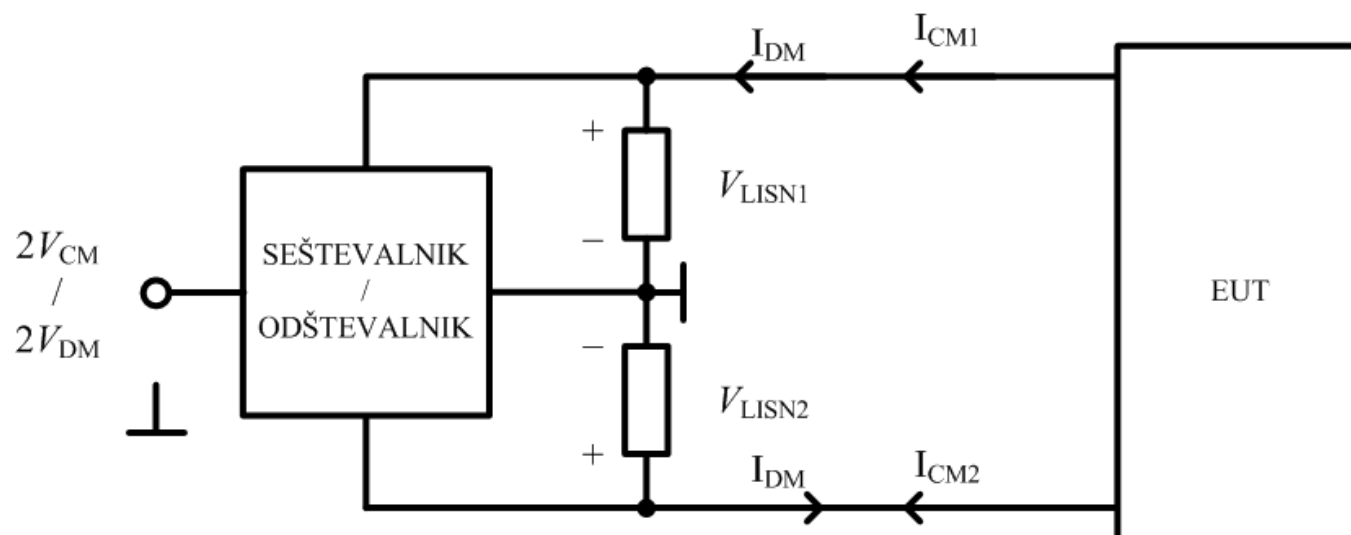
- *Z metodami, ki nam dajo odgovor, kakšne vrste so emisije*
 - *Protifazne,*
 - *Sofazne.*
- *S poznavanjem vrste emisij vemo, kako zmanjšati nivo (kam postaviti kondenzator, dušilko)*

EMC meritve

Meritev elektromagnetnih prevodnih emisij

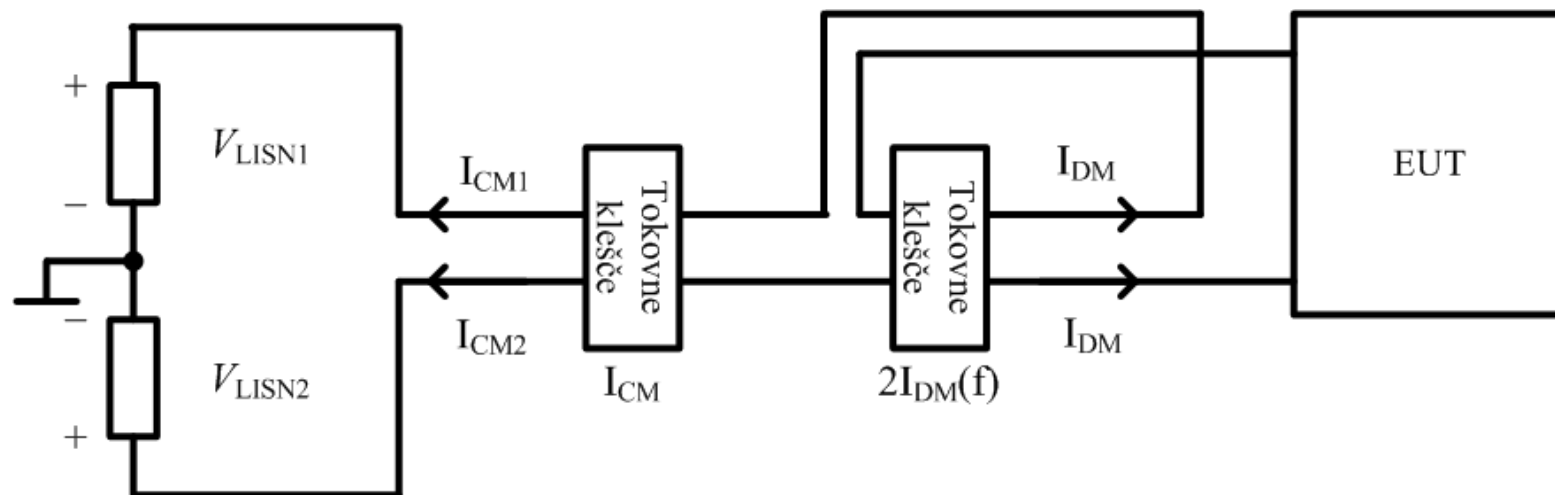


Napetostna metoda določanja DM in CM emisij



$$\begin{aligned}
 V_{LISN1} &= V_{DM} + V_{CM} \\
 V_{LISN2} &= V_{CM} - V_{DM} \\
 2V_{CM} &= V_{LISN1} + V_{LISN2} \\
 2V_{DM} &= V_{LISN1} - V_{LISN2}
 \end{aligned}$$

Tokovna metoda določanja DM in CM emisij



$$I_1 = I_{DM} + I_{CM1}$$

$$I_2 = I_{CM2} - I_{DM}$$

$$I_{CM} = I_1 + I_2$$

$$2I_{DM} = I_1 - I_2$$

EMC meritve

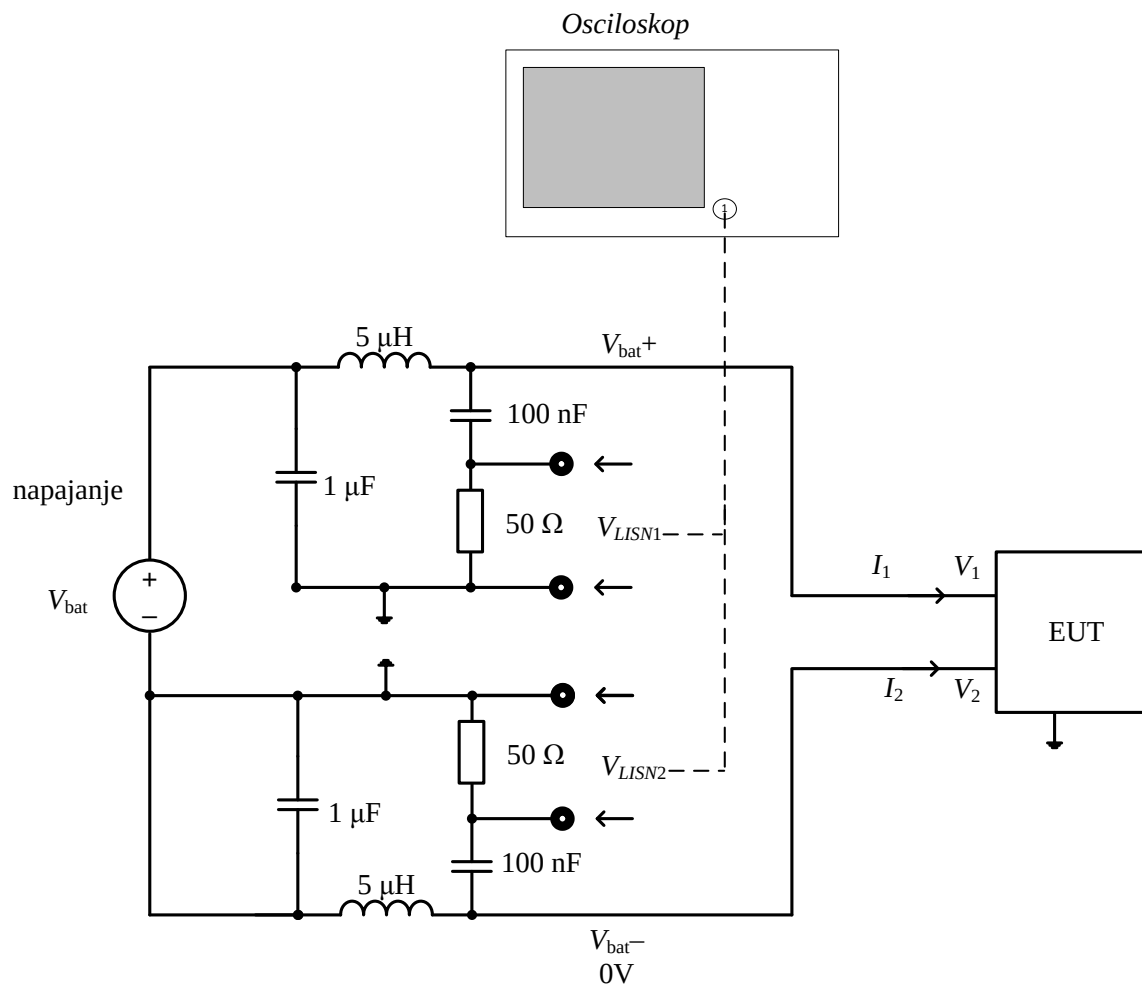
■ ***Meritev elektromagnetnih prevodnih emisij***

- *z EMI sprejemnikom,*
- *z osciloskopom.*

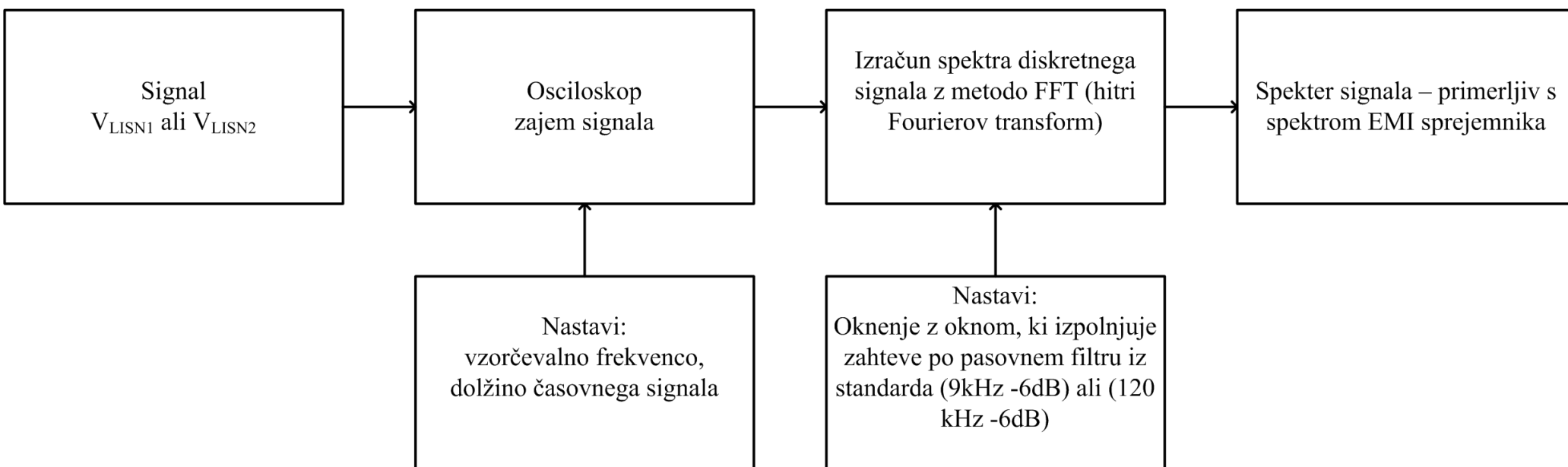
■ ***Prednosti merjenja z osciloskopom***

- *Cenejši kot EMI sprejemnik,*
- *Večja dostopnost,*
- *Ni nevarnosti za uničenje vhoda sprejemnika (omejitve: 0VDC, 30 dBm)*
- *Lažje rokovanje – poznavanje inštrumenta*

Meritev elektromagnetnih prevodnih emisij z osciloskopom

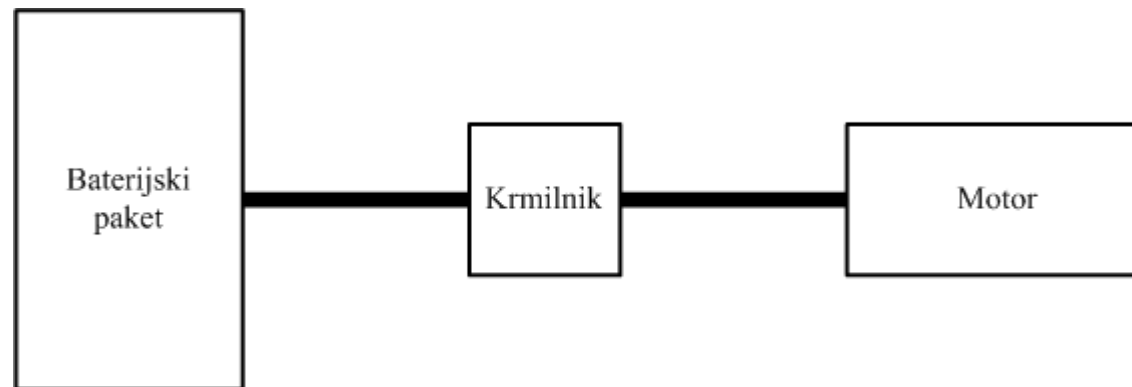


Meritev elektromagnetnih prevodnih emisij z osciloskopom izračun spektra s hitrim Fourierovim transformom integriranim v osciloskopu



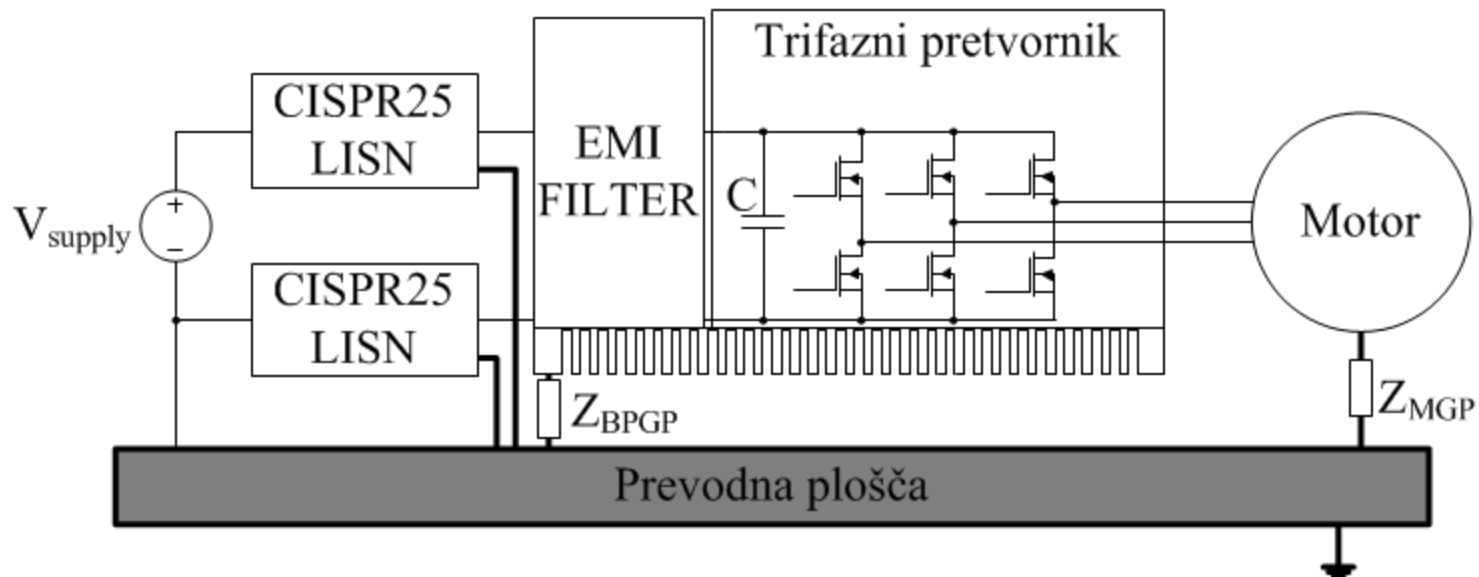
Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Pogonski sistem



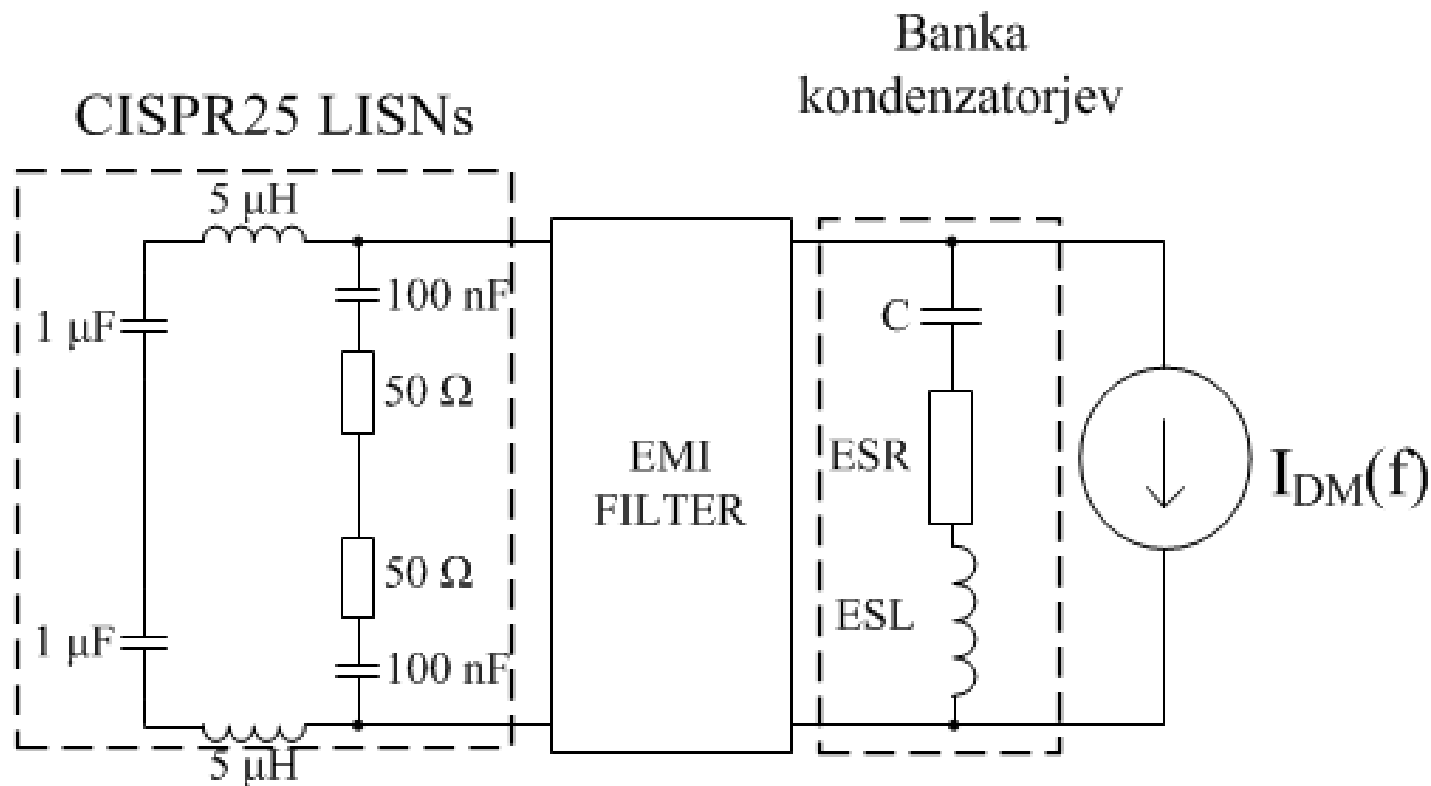
Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Pogonski sistem



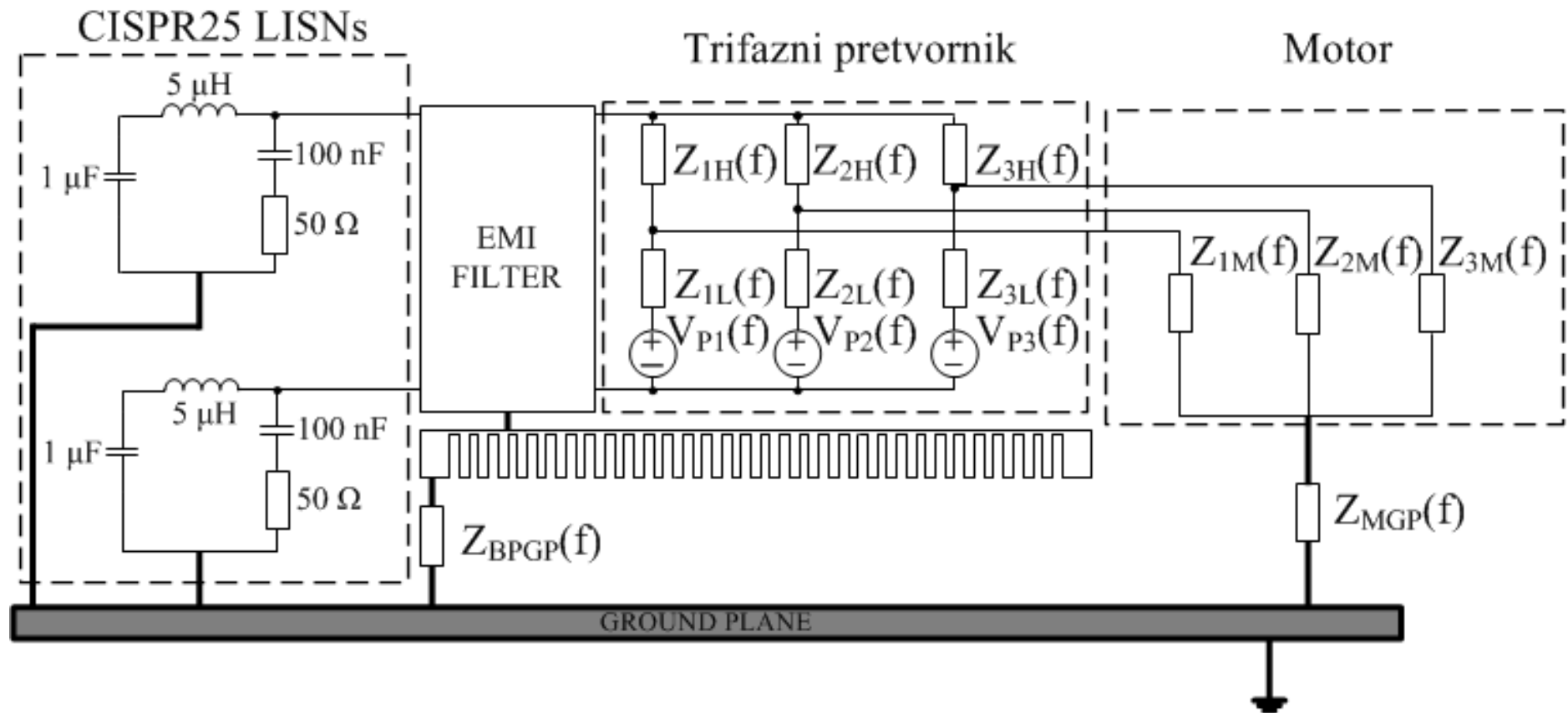
Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Protifazne emisije – rezultat preklapljanja faznih tokov di/dt



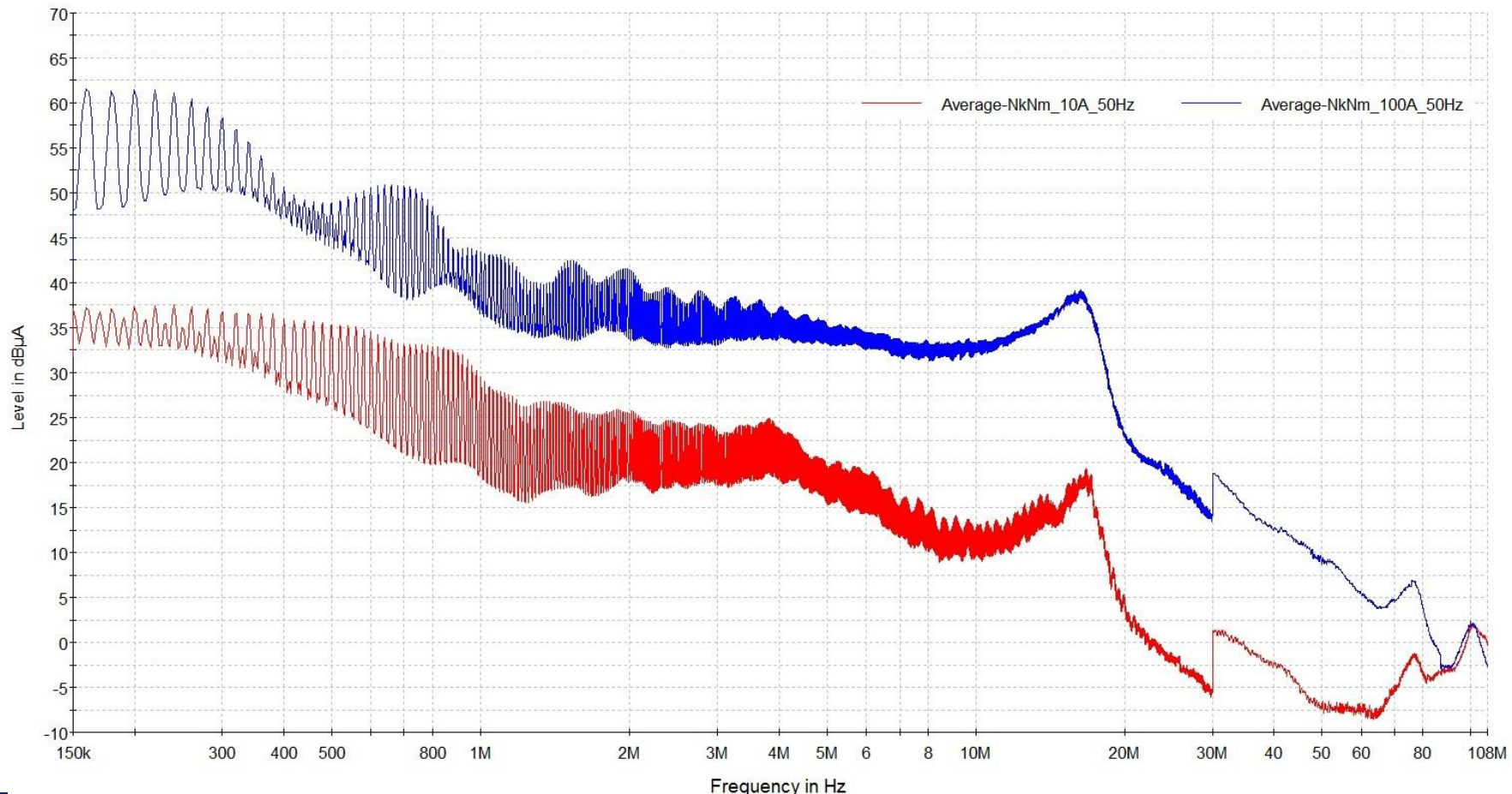
Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Sofazne emisije – rezultat preklapljanja/sekanja napetosti v fazah



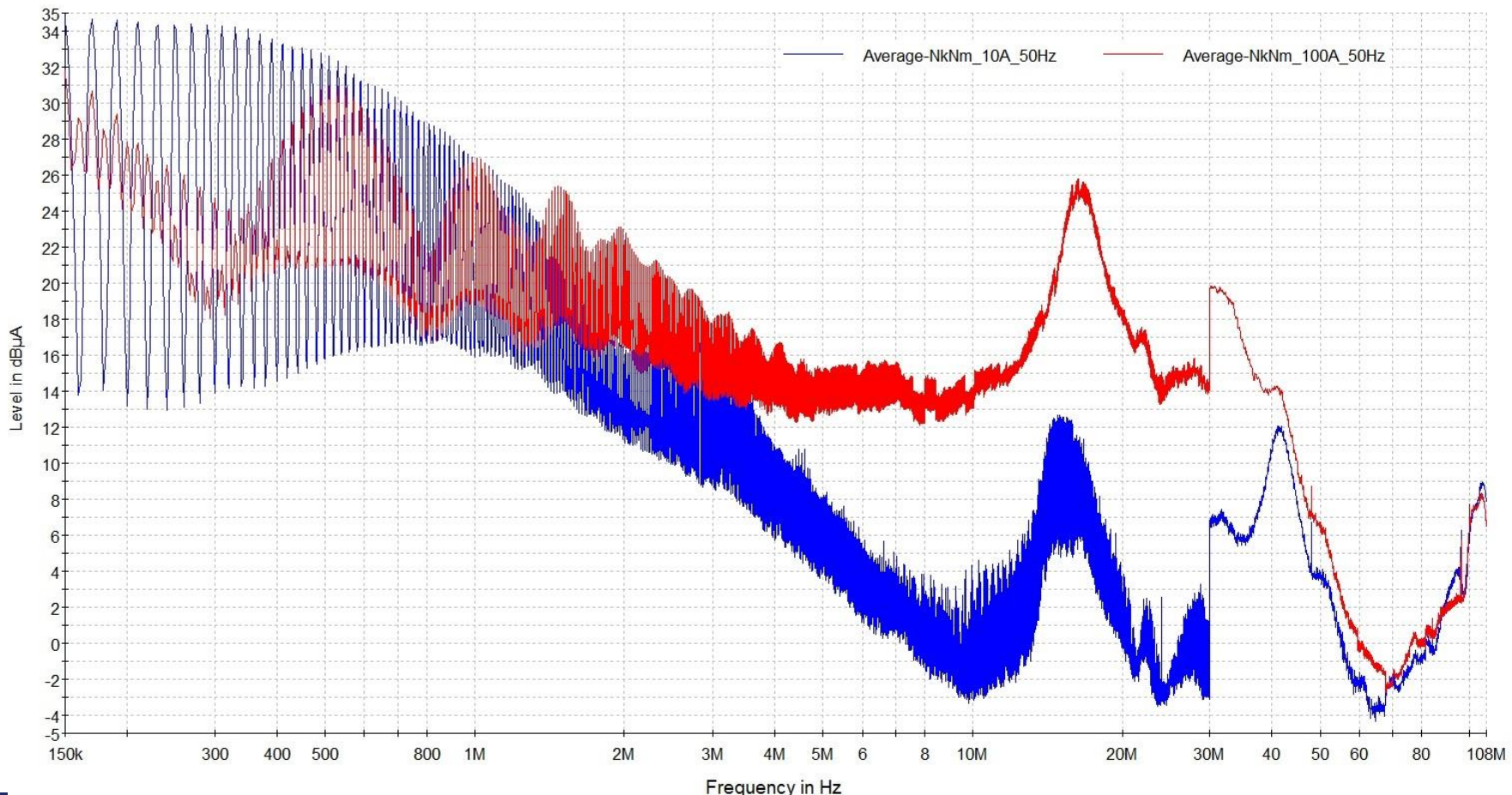
Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Meritev protifaznih tokov, rdeča črta (fazni tok 10Arms, 50Hz), modra črta (fazni tok 100Arms, 50Hz)



Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Meritev sofaznih tokov, modra črta (fazni tok 10Arms , 50Hz), rdeča črta (fazni tok 100Arms , 50Hz)

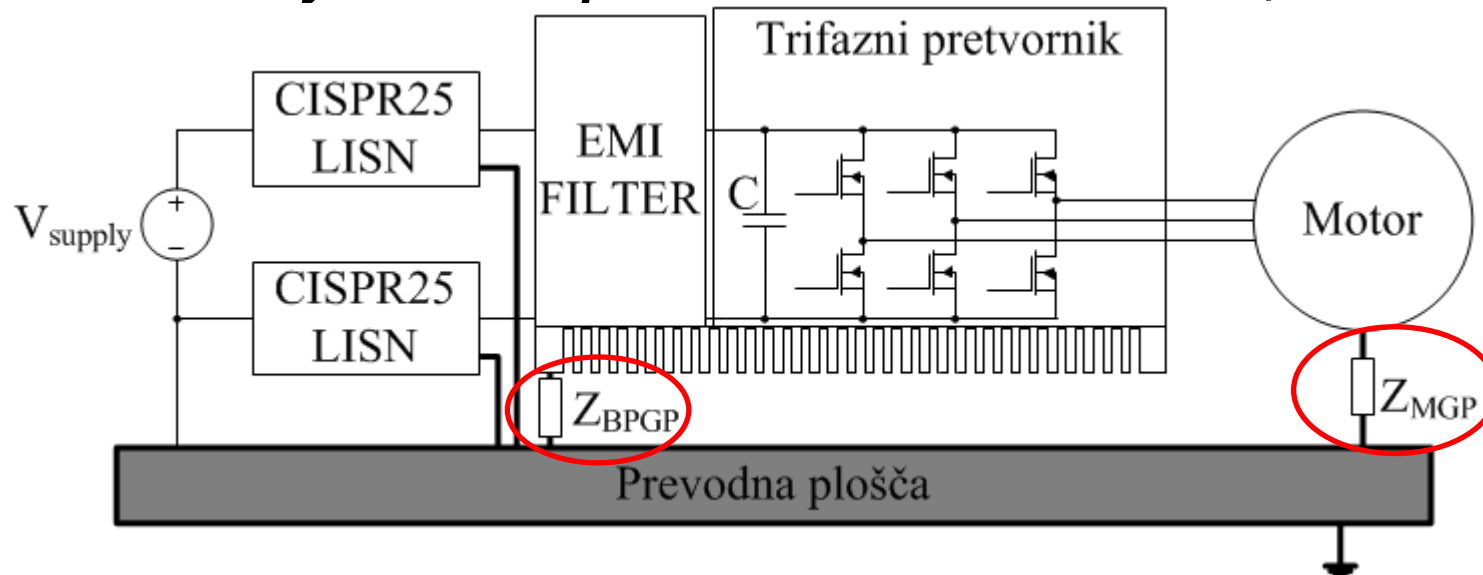


Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Štiri različne ozemljitve motorja in krmilnika:

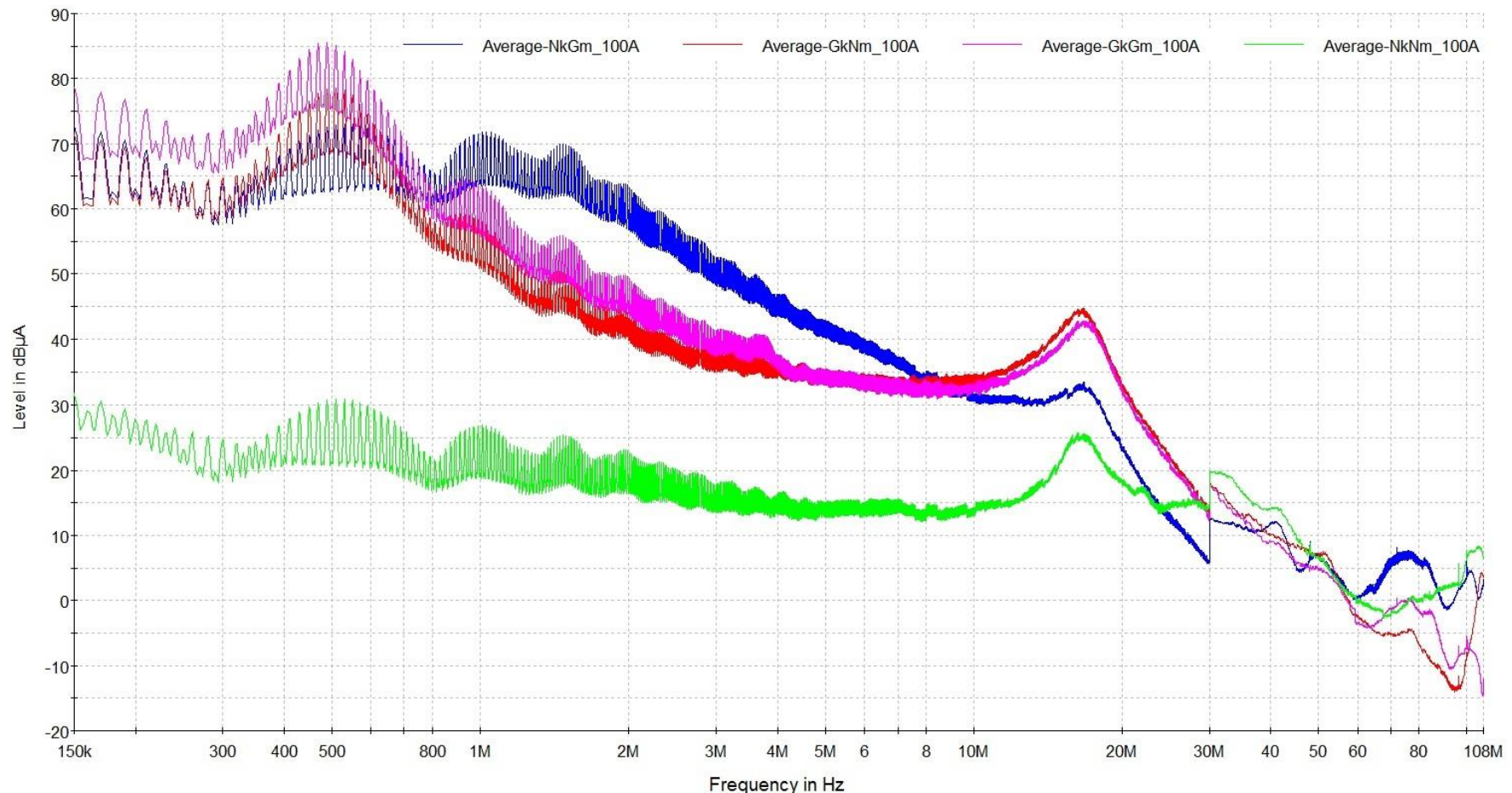
- Konfiguracija 1: Osnovna plošča trifaznega pretvornika in ohišje motorja ne ozemljena.
- Konfiguracija 2: Osnovna plošča trifaznega pretvornika ozemljena in ohišje motorja ne ozemljeno.
- Konfiguracija 3: Osnovna plošča trifaznega pretvornika ozemljena in ohišje motorja ozemljeno.
- Konfiguracija 4: Osnovna plošča trifaznega pretvornika ne ozemljena in ohišje motorja ozemljeno.

Povprečna vrednost sofaznega in protifaznega toka izmerjenih na napajalnem ožičenju sistema pri faznem toku 100 A RMS, 50 Hz.



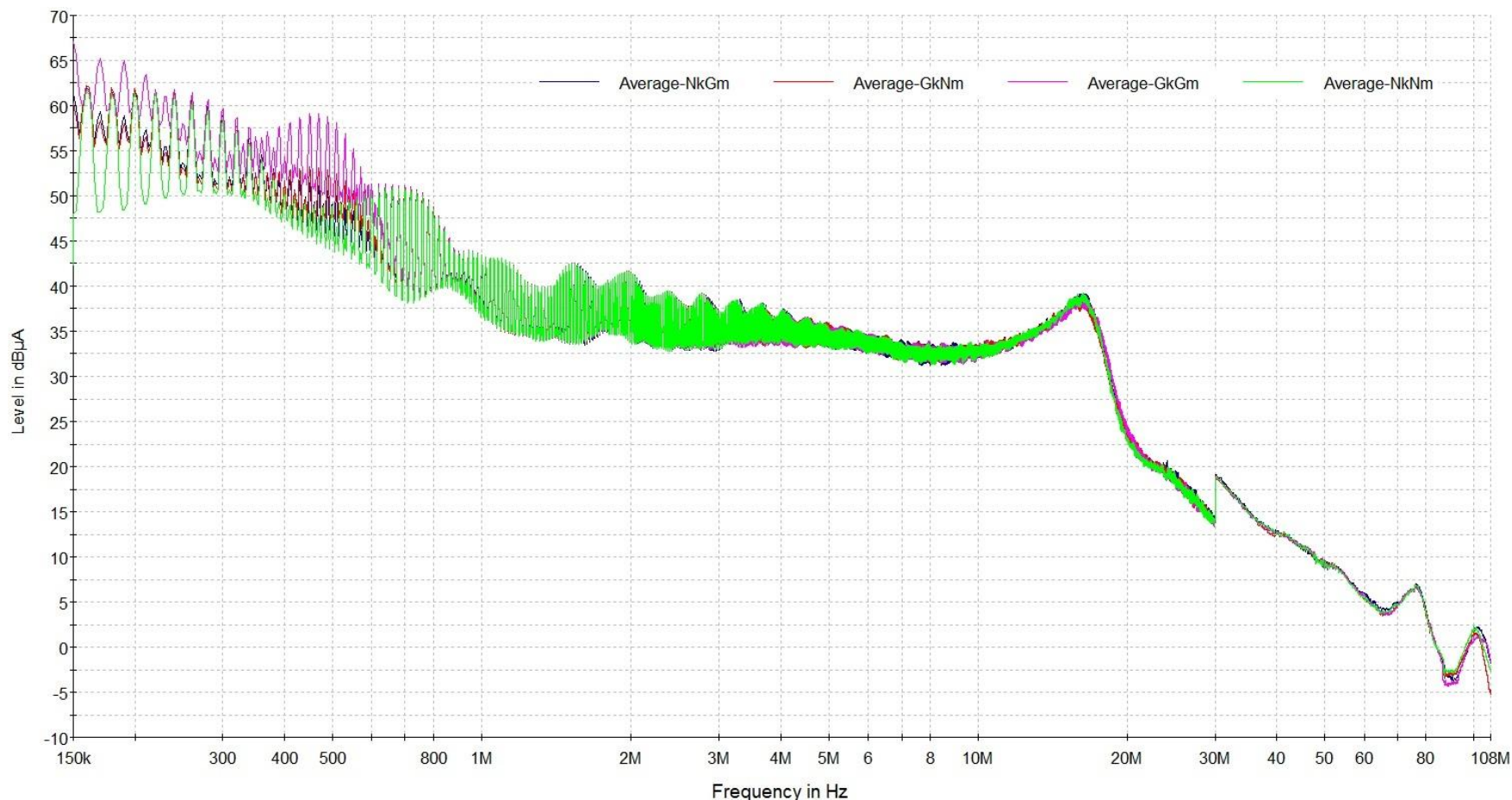
Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Meritev sofaznih tokov vseh štirih konfiguracij – najnižji tokovi konf. 1



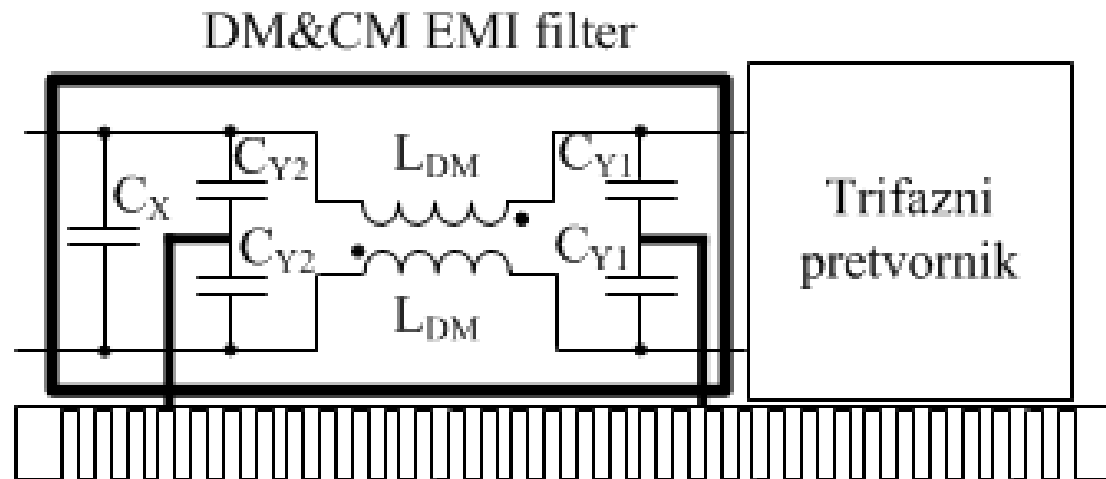
Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Meritev protifaznih tokov vseh štirih konfiguracij, neodvisni od ozemljitve



Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Filtriranje emisij - filter



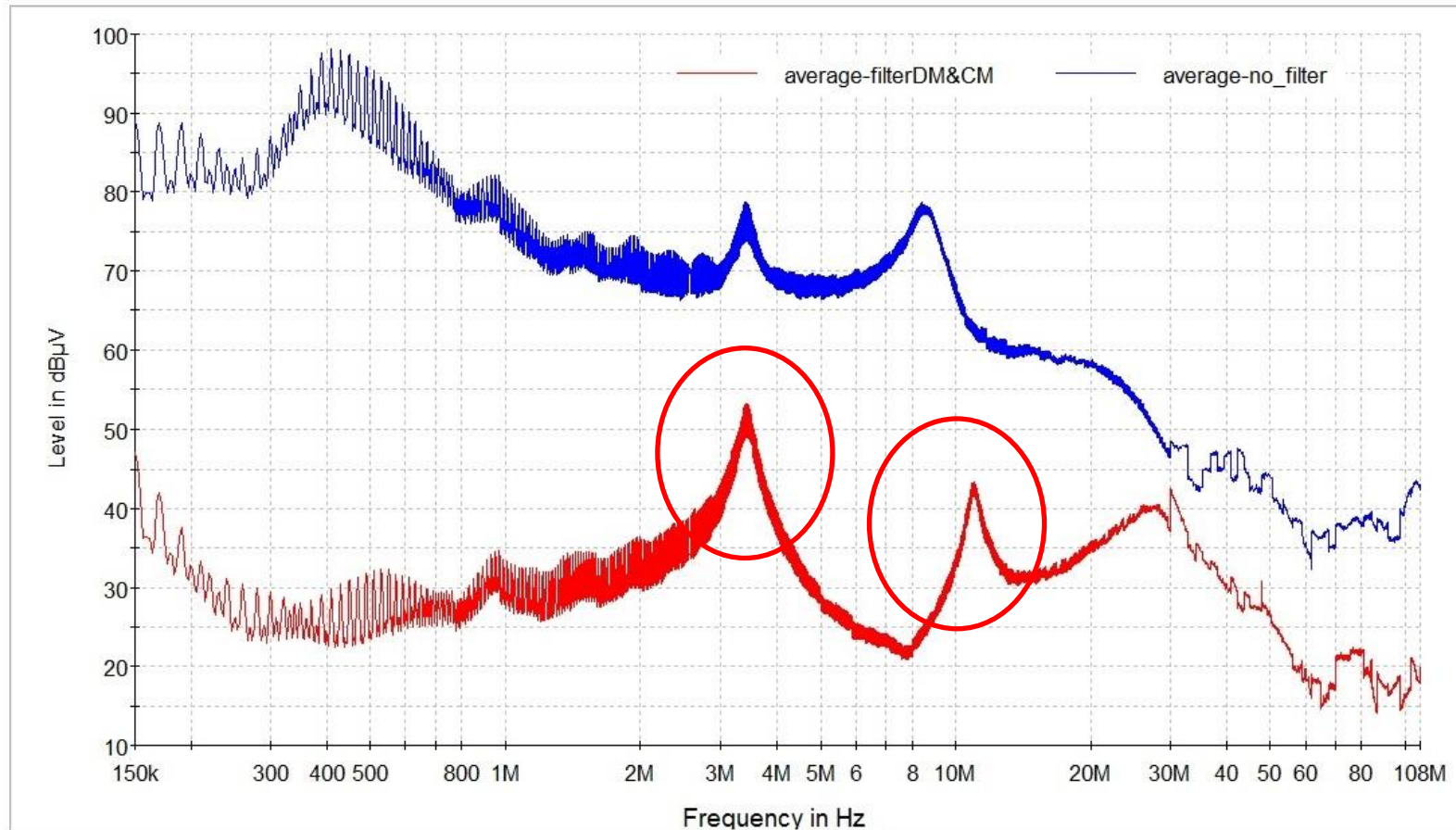
C_X : štiri paralelno kondenzatorji $1\mu F$

C_{Y1}, C_{Y2} : 470 nF

L_{DM} : $130\text{ }\mu H$

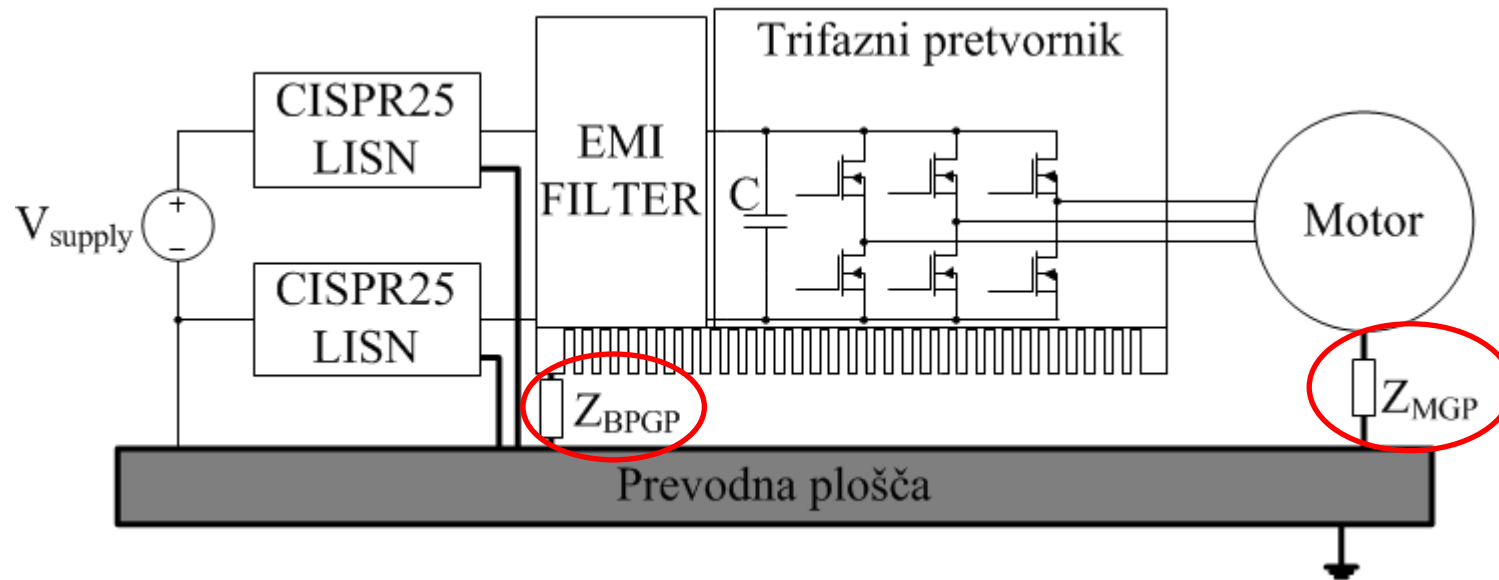
Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Filtriranje emisij – primerjava, modra črta brez filtra, rdeča črta s filtrom



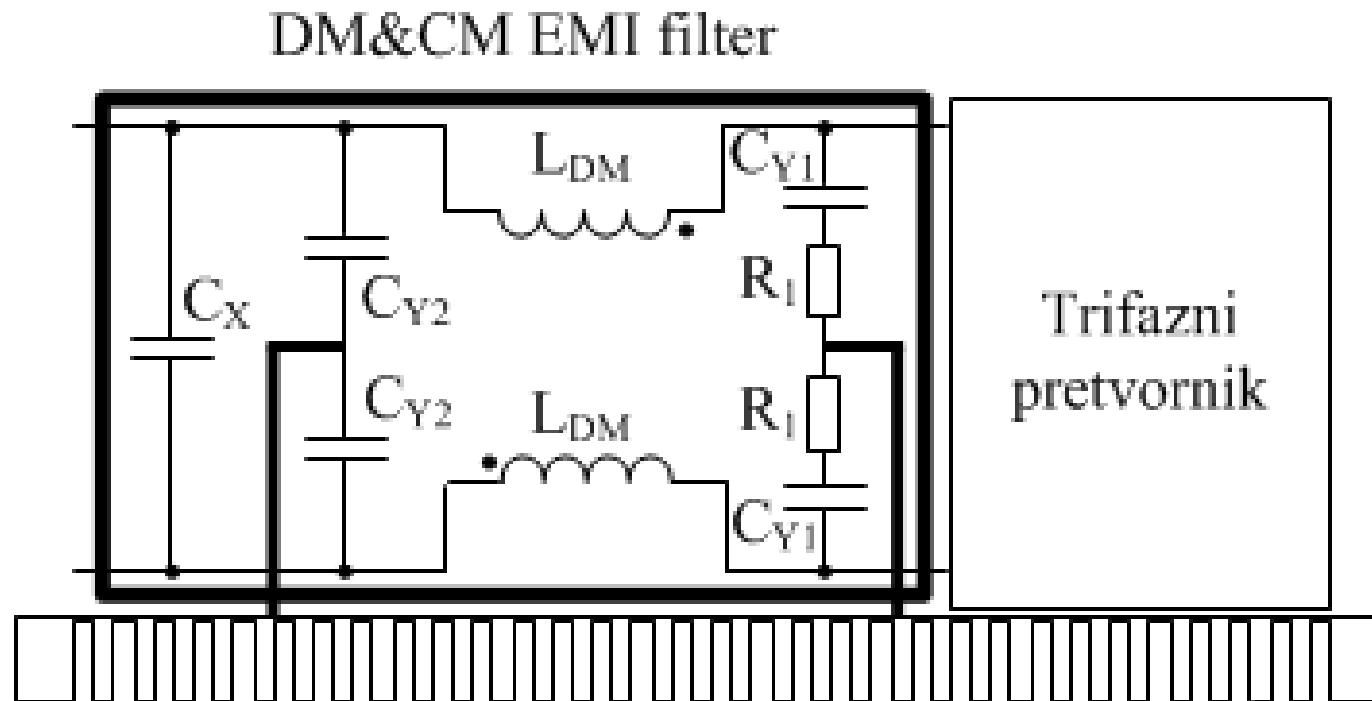
Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Razlog za povišane nivoje emisij – oscilacije med močnostnim pretvornikom, motorjem in EMI filtrom



Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

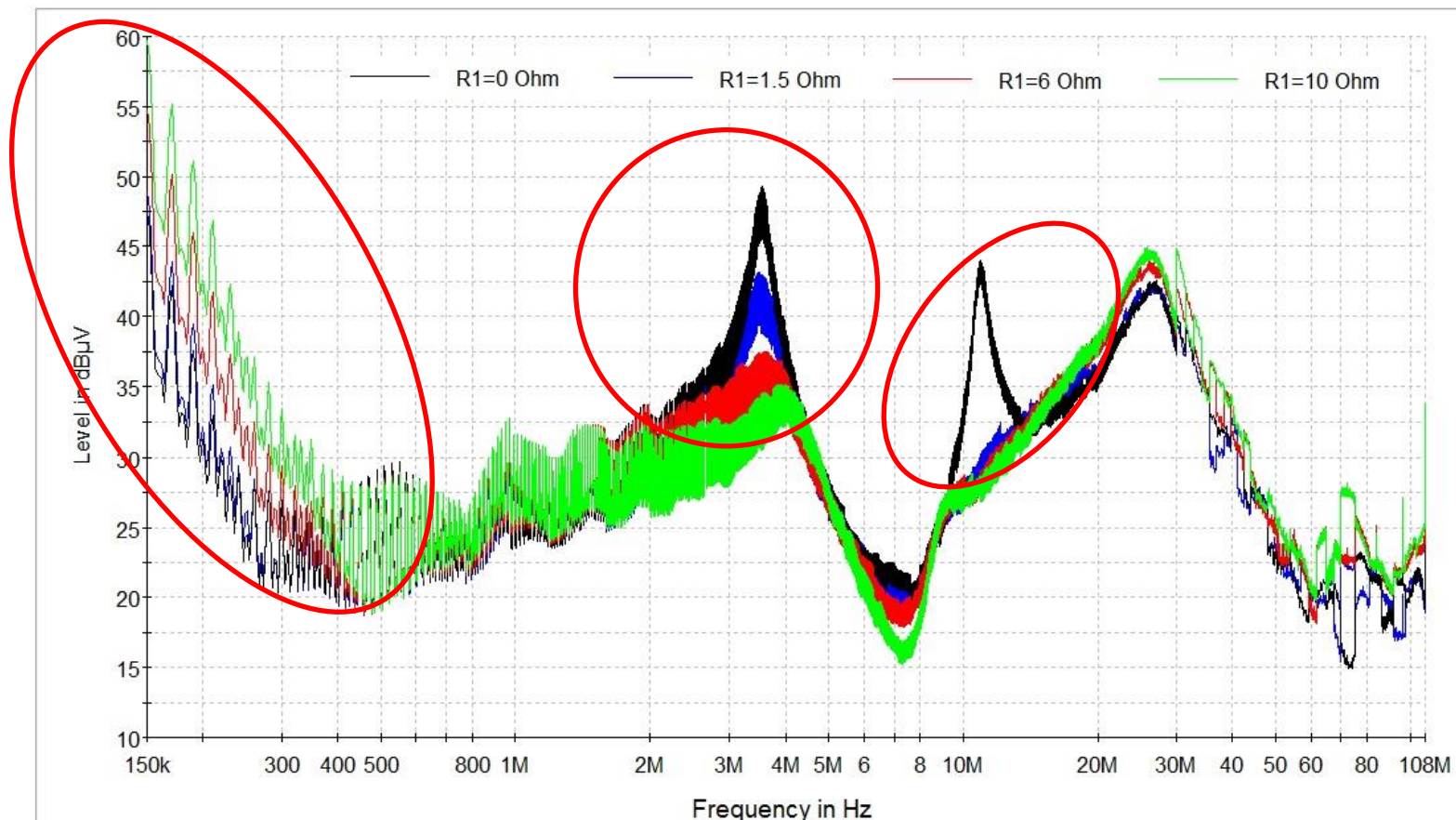
Filtriranje emisij – dodani snubber upori – zmanjševanje kvalitete nihajnega kroga



$$R_1 = [0, 1.5, 6, 10] \, \Omega$$

Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Filtriranje emisij – dodani snubber upori



Praktični primer – analiza prevodnih emisij pogonskega sistema za električno vozilo

Kaj smo se naučili iz analize?

- *Višji fazni tokovi -> višje protifazne in sofazne emisije*
- *Ozemljitev osnovne plošče trifaznega pretvornika ali ohišja motorja vpliva samo na nivoje sofaznih emisij*
- *Pasivno ali aktivno filtriranje je potrebno za zmanjšanje nivojev prevodnih emisij*
- *Dodatni elementi so potrebni za zadušitev resonanc (upori ali ferit beadi)*

Hvala za pozornost!
Vprašanja?