

Načrtovanje EMI filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij elektronskih naprav za avtomobilsko industrijo

Dr. Gregor Ergaver
Raziskave in razvoj elektromagnetne združljivosti
RR EMC



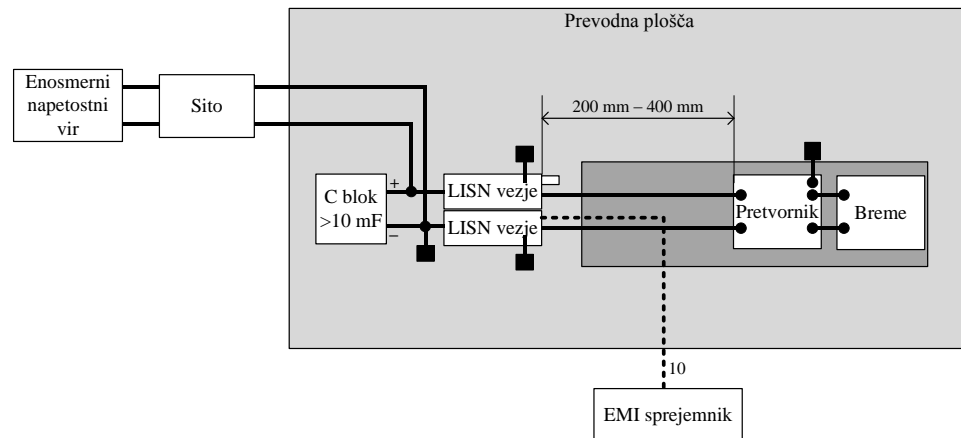
Vsebina

- Pregled EMC zahtev
- Prevodne emisije stikalnih pretvornikov (merilna postavitvev, gradniki, merilna veriga)
- Protifazne in sofazne emisije definicija, prenosne poti
- Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij – topologije, layout, izzivi

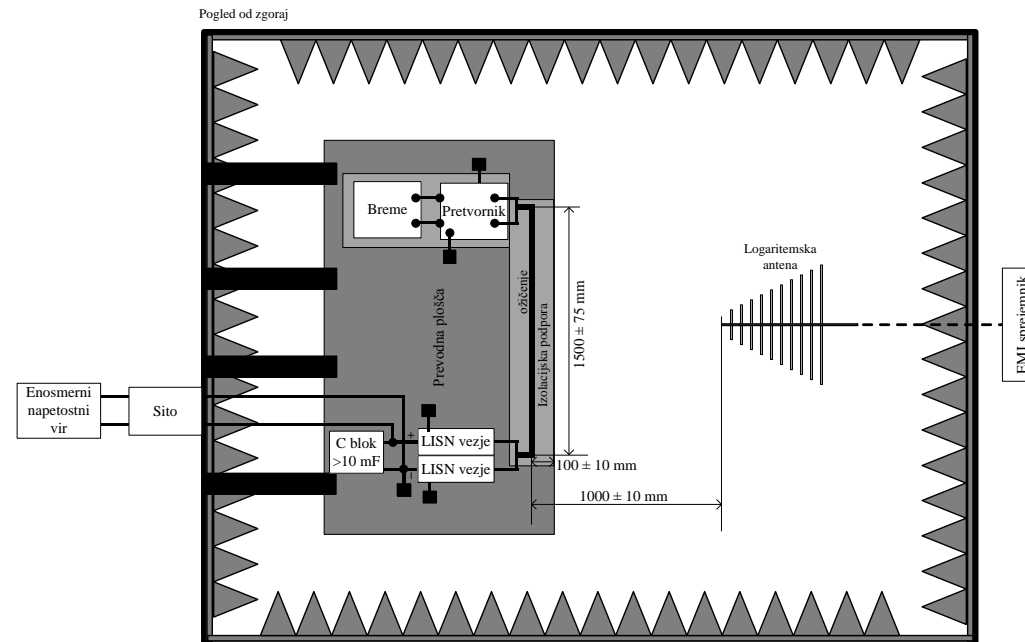
EMC zahteve

Zahteve po nizkih elektromagnetnih emisijah

Prevodne emisije – napetost napajalnih vodnikov



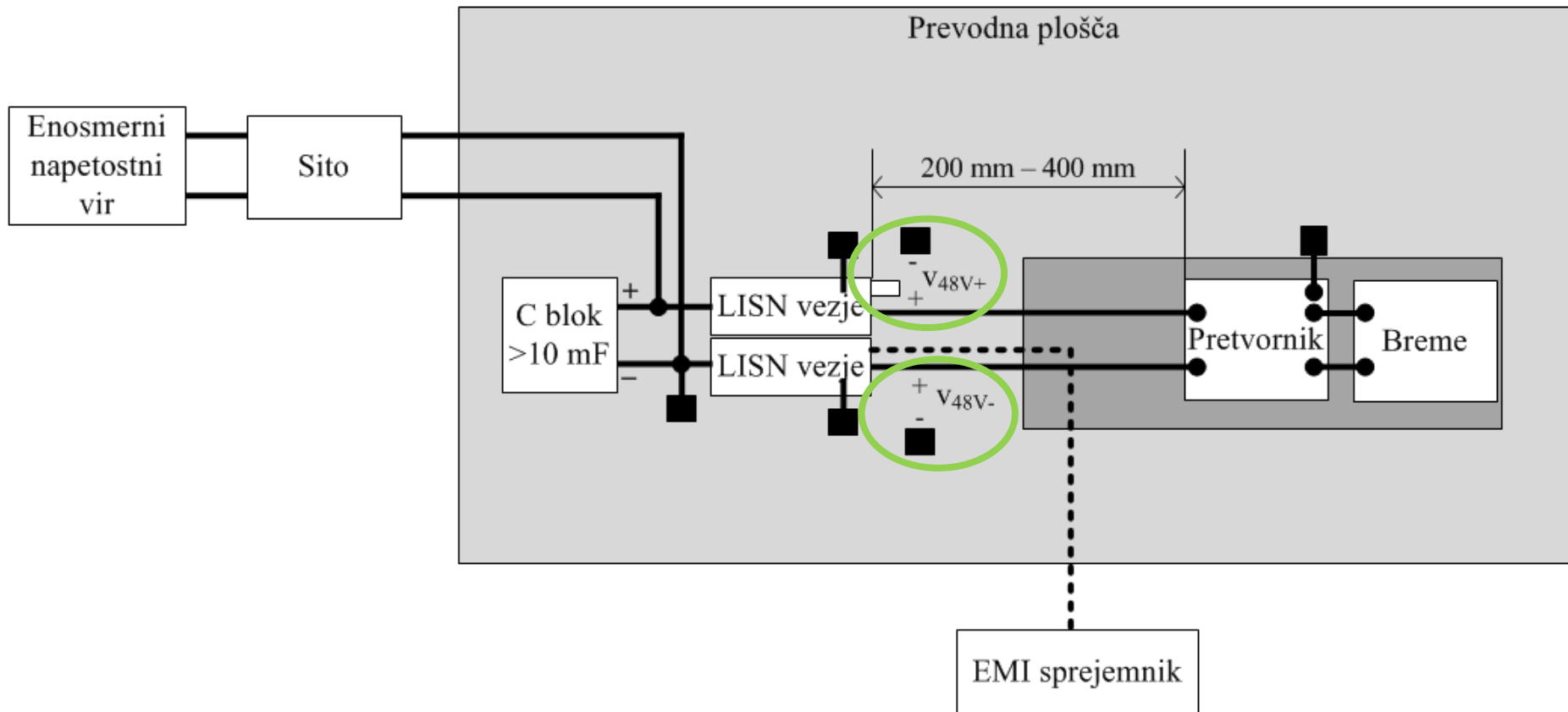
Sevalne emisije – napetost na anteni



- **Cilj:** doseči CISPR25 razred 5 mej prevodnih in sevalnih emisij

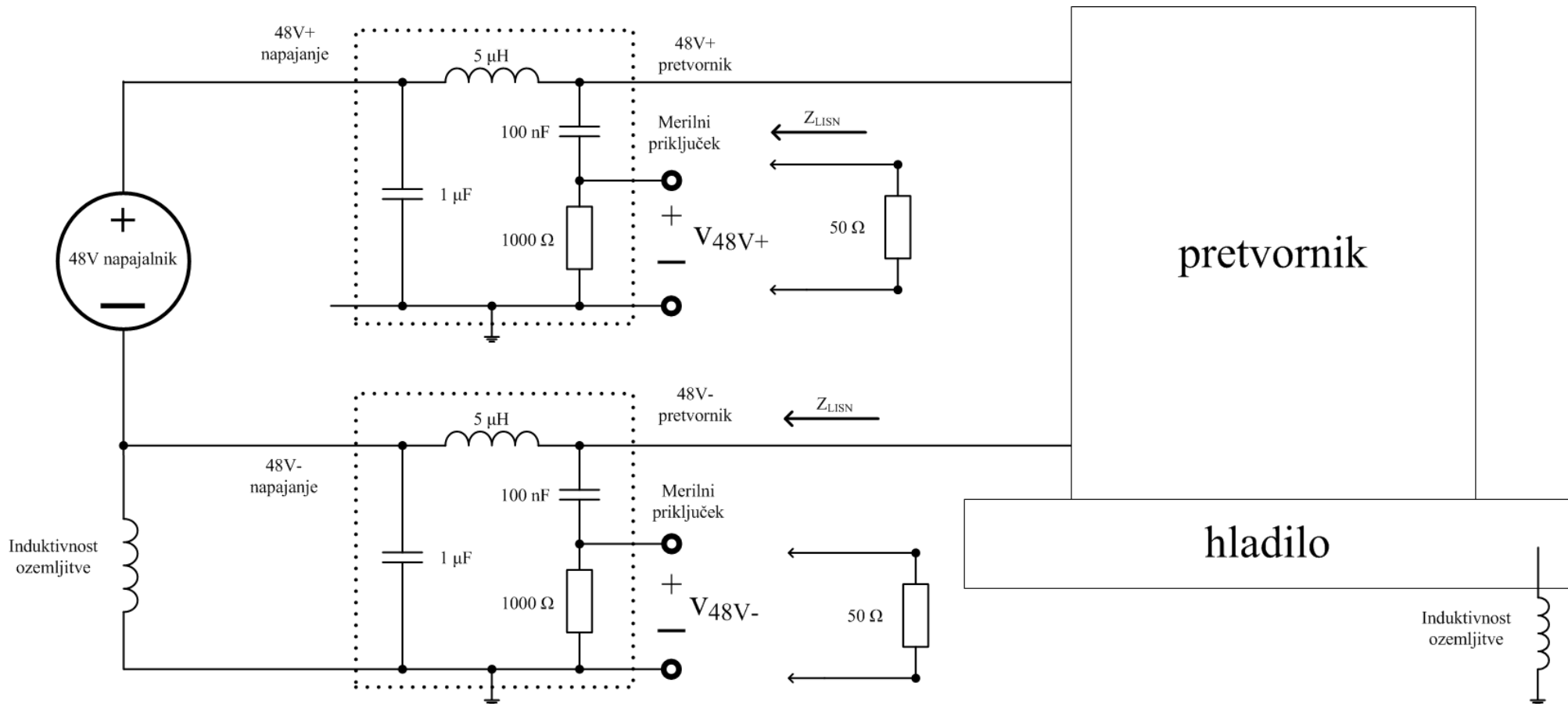
Prevodne emisije

- Merilna postavitve



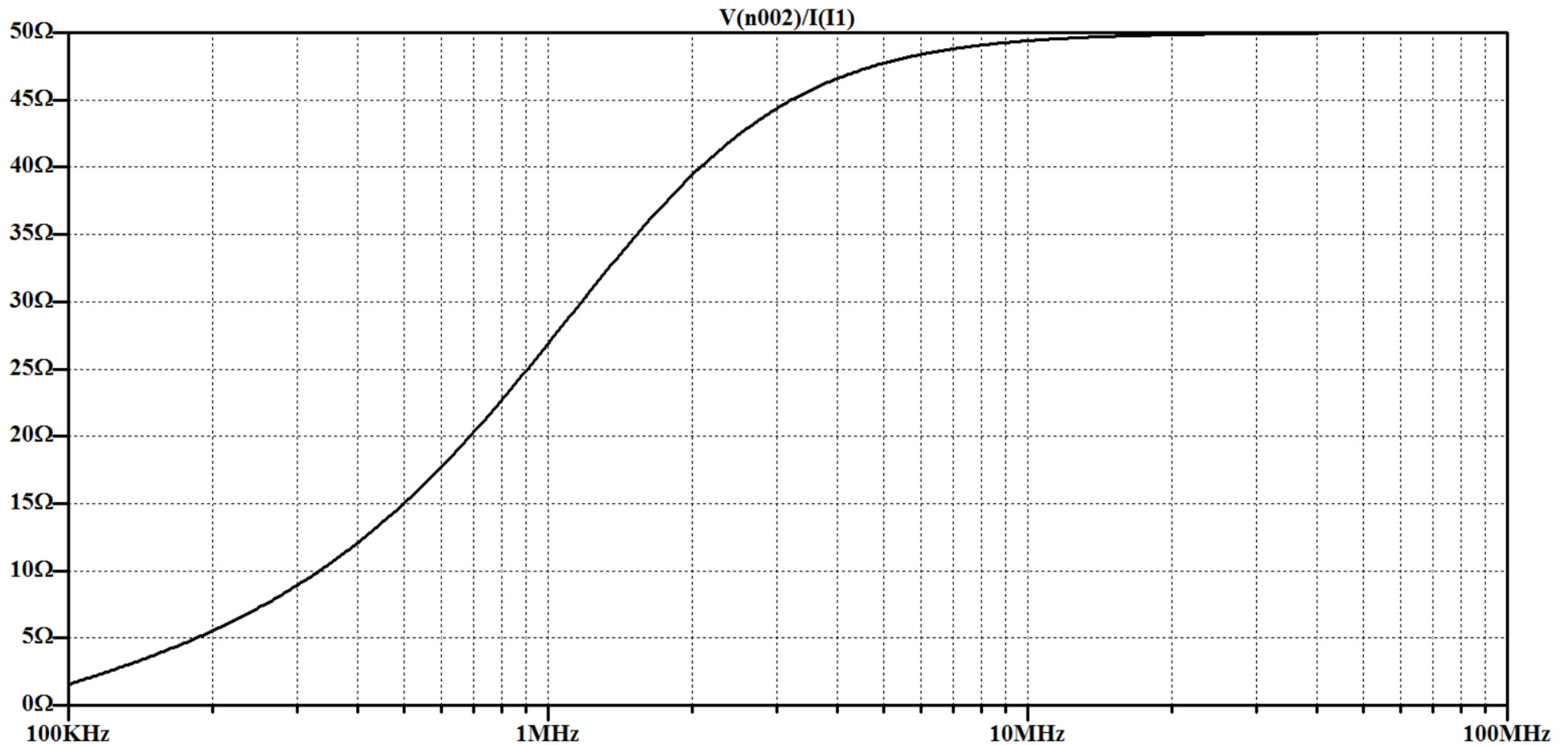
Prevodne emisije

- Merilna postavitve



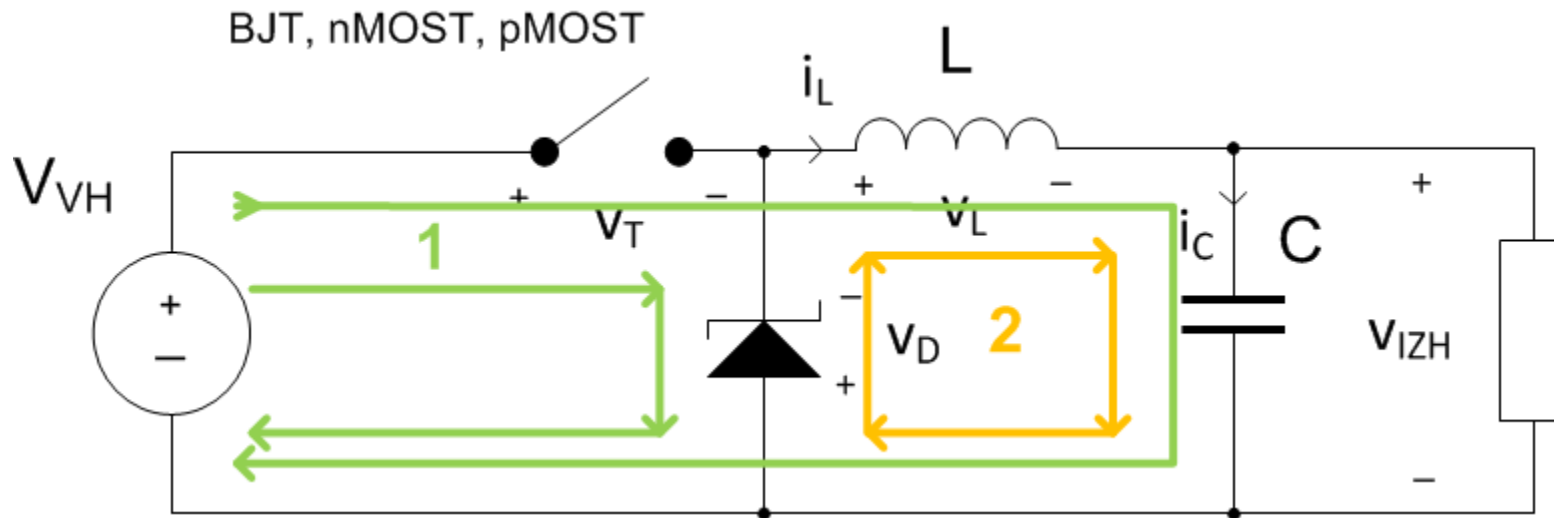
Prevodne emisije

- Impedanca idealnega LISN vezja



Prevodne emisije – pretvornika navzdol

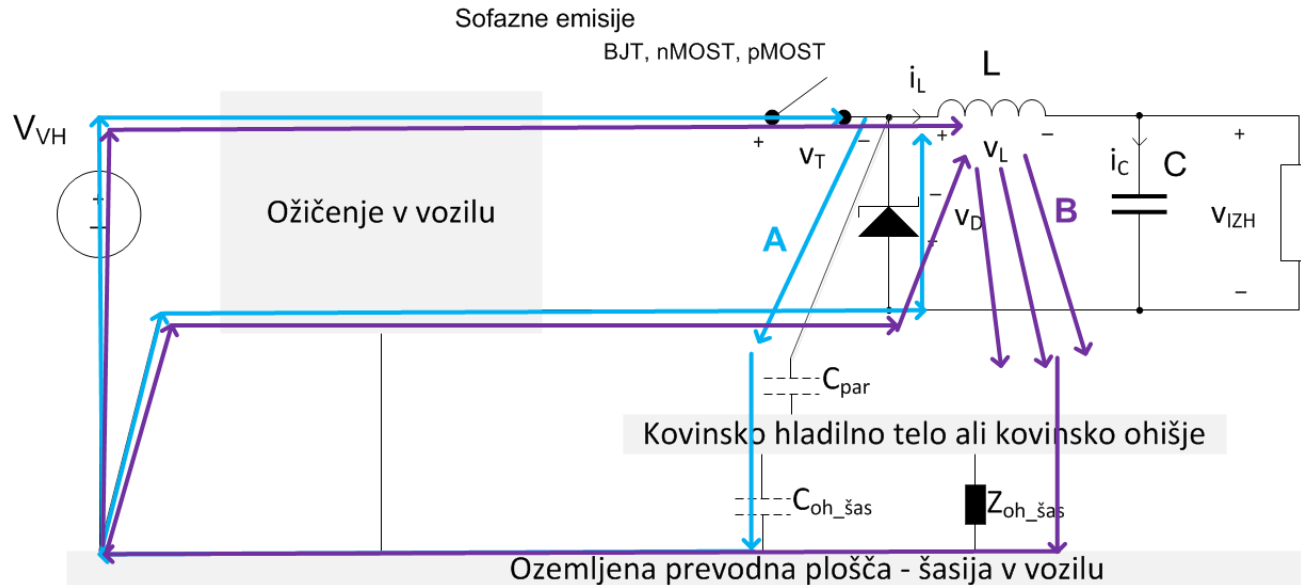
- Prevodne poti protifaznih tokov -> protifazne emisije



- 1** – stikalo vključeno, del toka gre skozi dušilko L , del toka zaradi rekombinacije nosilcev v diodi - zanka je velika, zmanjšamo jo tako, da se pri stikalu postavi dodaten kondenzator in da se izhodni kondenzator postavi čim bližje dušilki. Poskrbeti je potrebno, da tok res teče čez kondenzator, saj tako zmanjšamo dodatno induktivnost kondenzatorja zaradi layouta.
- 2** – stikalo izključeno, tok skozi dušilko se zaključi čez diodo, zanko jo potrebno tudi zmanjšati.

Prevodne emisije – pretvornika navzdol

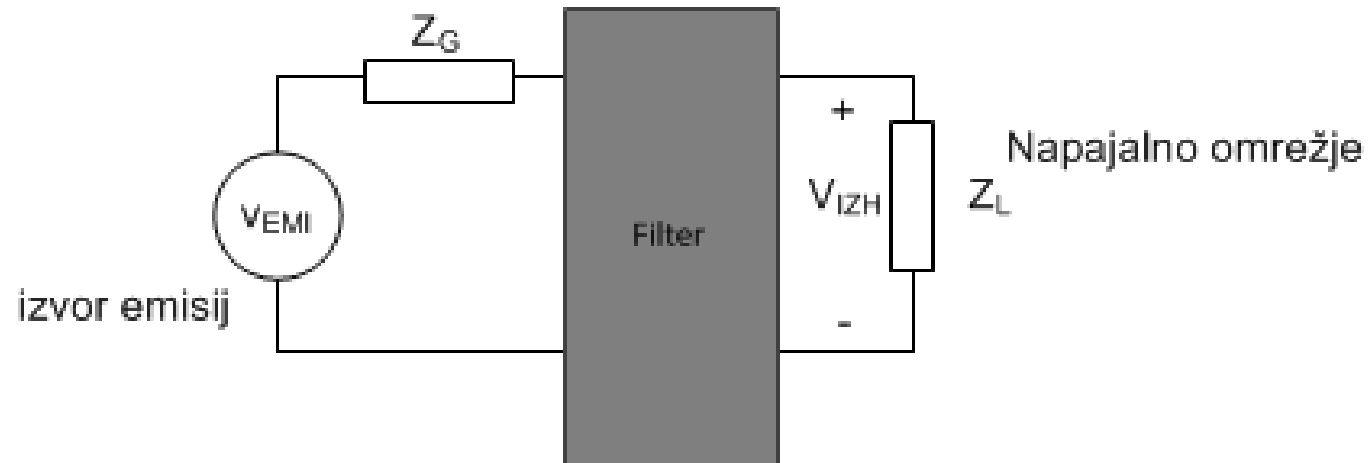
- Prevodne poti sofaznih tokov -> sofazne emisije



- A** – vklapljanje in izklapljanje stikala povzroča visoke časovne spremembe napetosti. Sofazni tok steče navadno preko parazitnih kapacitivnosti na ohišje ali hladilno telo in iz tam na šasijo vozila preko stresanih kapacitivnosti ali pa po ozemljitvenem vodniku. Iz šasije se nato vrača po več poteh nazaj v pretvornik.
- B** – nihanje napetosti je prisotno v celotni povezavi od stikala do konca dušilke. Sofazni tok teče preko parazitnih kapacitivnosti proti ozemljeni prevodni plošči. Tudi če mislimo, da parazitov ni, so gotovo prisotni. Z layoutom moramo poskrbeti, da je pot, kjer je napetostno nihanje (stikala -> konec dušilke) čim krajša. Idealna dolžina 0 mm.

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Gradniki pasivnih filtrov: R, L, C -> Kako vemo katerega izbrati?



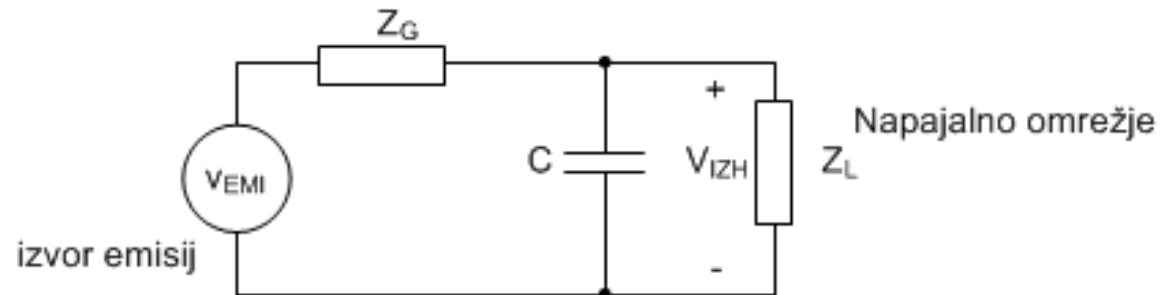
- Definicija dušenja filtra:

- $$A = 20 \log_{10} \left| \frac{v_{izh, brez filtra}}{v_{izh, s filtrom}} \right|$$

- Cilj je A -> preko vseh meja (čim več dB)

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Primer filtra s kondenzatorjem:



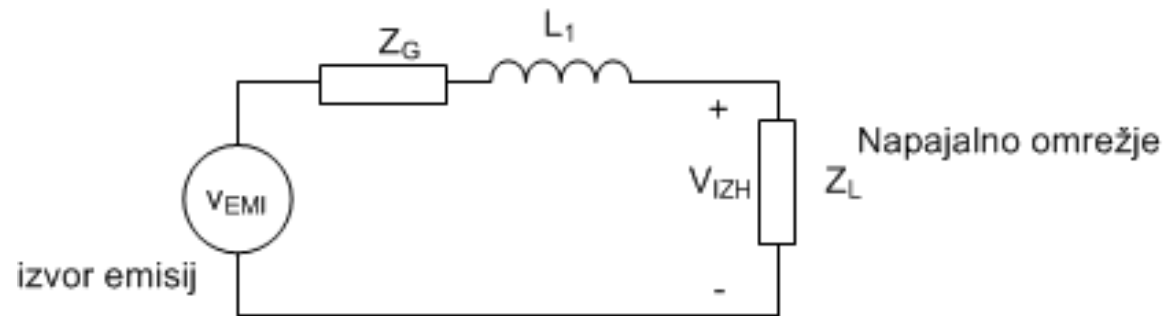
- Izračun dušenja filtra:

$$A = 20 \log_{10} \left| \frac{v_{izh, brez filtra}}{v_{izh, s filtrom}} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{\frac{Z_L}{Z_L + Z_G} v_{EMI}}{\frac{Z_L || Z_C}{Z_L || Z_C + Z_G} v_{EMI}} \right| = \dots = 20 \log_{10} \left| 1 + \frac{Z_L || Z_G}{Z_C} \right| =$$

- Dušenje je veliko, če sta **obe impedanci vira in bremena Z_L in Z_G veliki**

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Primer filtra z dušilko:



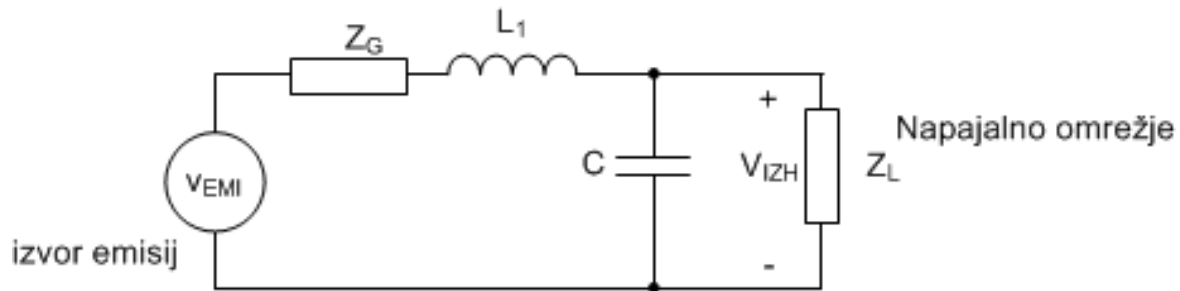
- Izračun dušenja filtra:

- $$A = 20 \log_{10} \left| \frac{v_{izh, brez filtra}}{v_{izh, s filtrom}} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{\frac{Z_L}{Z_L + Z_G} v_{EMI}}{\frac{Z_L}{Z_L + Z_G + Z_{L1}} v_{EMI}} \right| = \dots = 20 \log_{10} \left| 1 + \frac{Z_{L1}}{Z_L + Z_G} \right| =$$

- Dušenje je veliko, če sta **obe impedanci vira in bremena Z_L in Z_G majhni**

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Primer filtra z dušilko in kondenzatorjem:



- Z dušilko večamo serijsko impedanco izvora emisij in s kondenzatorjem manjšamo impedanco bremena.
- Izračun dušenja filtra:

$$A = 20 \log_{10} \left| \frac{v_{izh, brez filtra}}{v_{izh, s filtrom}} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{\frac{Z_L}{Z_L + Z_G} v_{EMI}}{\frac{Z_L \parallel Z_C}{Z_L \parallel Z_C + Z_G + Z_{L1}} v_{EMI}} \right| = \dots =$$

$$20 \log_{10} \left| \frac{Z_L \parallel Z_G}{Z_L \parallel Z_C} + \frac{Z_L Z_{L1}}{(Z_L + Z_G) Z_L \parallel Z_C} + \frac{Z_L}{Z_L + Z_G} \right|$$

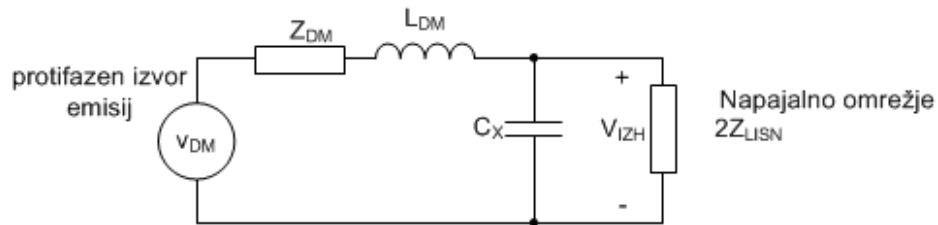
- Dušenje je veliko, če je impedanca vira Z_G majhna in impedanca bremena Z_L visoka.

$$A|_{Z_G \ll Z_L} \cong 20 \log_{10} \left| \frac{Z_G}{Z_C} + \frac{Z_{L1}}{Z_C} + 1 \right| \rightarrow \text{v tem primeru prevladuje člen } \frac{Z_{L1}}{Z_C} \rightarrow \omega^2 L_1 C$$

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

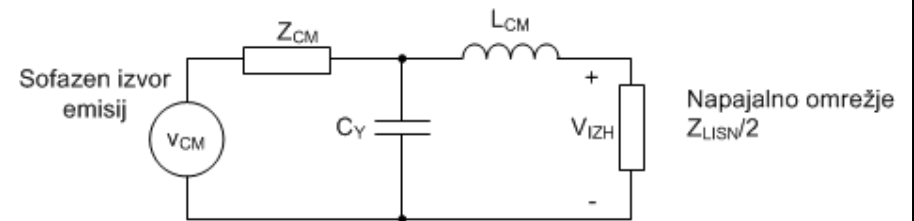
- Topologije filtrov glede na tip emisije

Protifazne emisije



- Z_{DM} majhna -> impedanca kondenzatorske banke
- Z_{LDM} čim večja, tipično $10 \Omega < Z_{LDM} < 100 \Omega$

Sofazne emisije

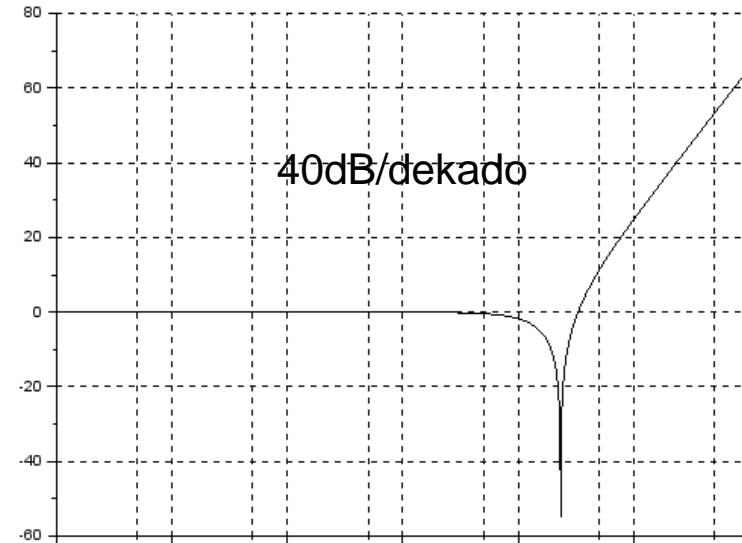
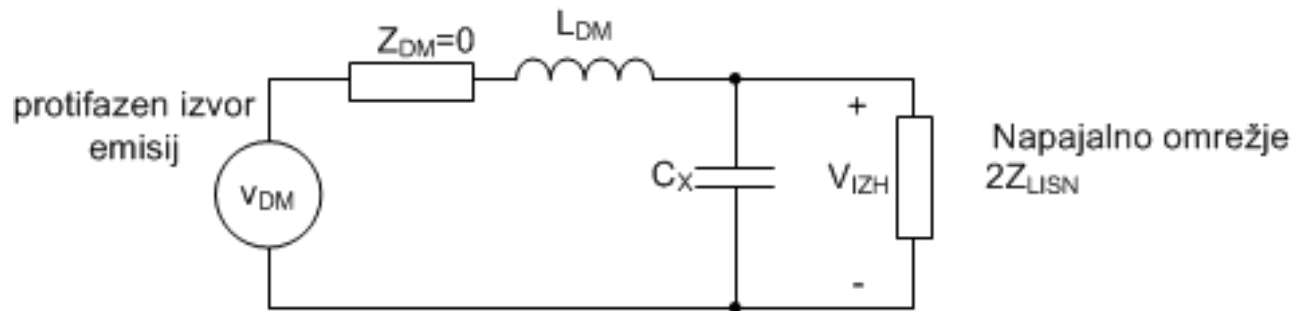


- Z_{CM} velika -> impedanca stresane kapacitivnosti med pretvornikom in ohišjem (pF -> nF)
- Z_{LCM} čim večja

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Postopek gradnje protifaznega filtra

1. Meritve ali ocene emisij brez filtra.
2. Izračunamo koliko dušenja potrebujemo za protifazne emisije. (izmerjeni nivoji – zahtevani nivoji)
3. Uporabimo predpostavko, da je impedanca vira emisij 0.

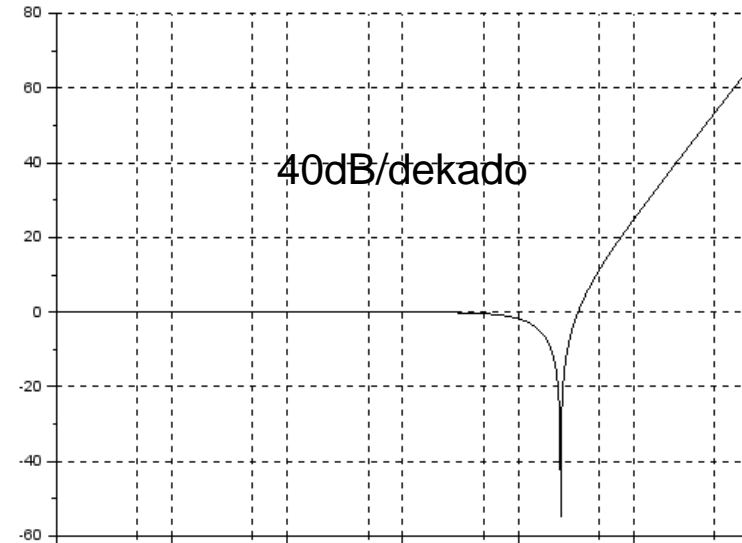
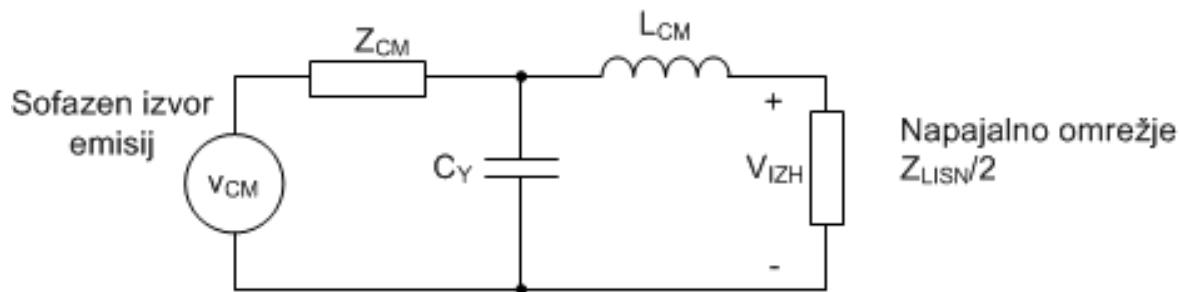


$v_{DM} = v_{izh}$, brez filtra \rightarrow ker je $Z_{DM}=0$

$$A_{DM} = 20 \log_{10} \left| \frac{v_{izh, brez filtra}}{v_{izh, s filtrom}} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{v_{DM}}{\frac{Z_{C_X} || 2Z_{LISN}}{Z_{LDM} + Z_{C_X} || 2Z_{LISN}} v_{DM}} \right| = \dots = 20 \log_{10} \left| 1 + \frac{sL_{DM}}{2Z_{LISN}} + s^2 L_{DM} C_X \right|$$

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Postopek gradnje sofaznega filtra
 1. Meritve ali ocene emisij brez filtra.
 2. Izračunamo koliko dušenja potrebujemo za sofazne emisije. (izmerjeni nivoji – zahtevani nivoji)
 3. Sofazni filter -> uporabimo predpostavko, da je $Z_{CM} \gg Z_{LISN}$. (paraziti v rangi pF)



$$v_{izh, brez filtra} = v_{CM} \frac{Z_{LISN}/2}{\frac{Z_{LISN}}{2} + Z_{CM}}$$

$$A_{CM} = 20 \log_{10} \left| \frac{v_{izh, brez filtra}}{v_{izh, s filtrom}} \right| = \dots = 20 \log_{10} \left| 1 + \frac{Z_{LISN}}{2} C_Y s + s^2 L_{CM} C_Y \right|$$

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Postopek gradnje sofaznega in protifaznega filtra

4. Resonančne frekvence obeh filtrov. Za izbiro primernih dušilk in kondenzatorjev nastavimo resonančno frekvenco filtra dovolj nizko, da imamo zadostno dušenje.

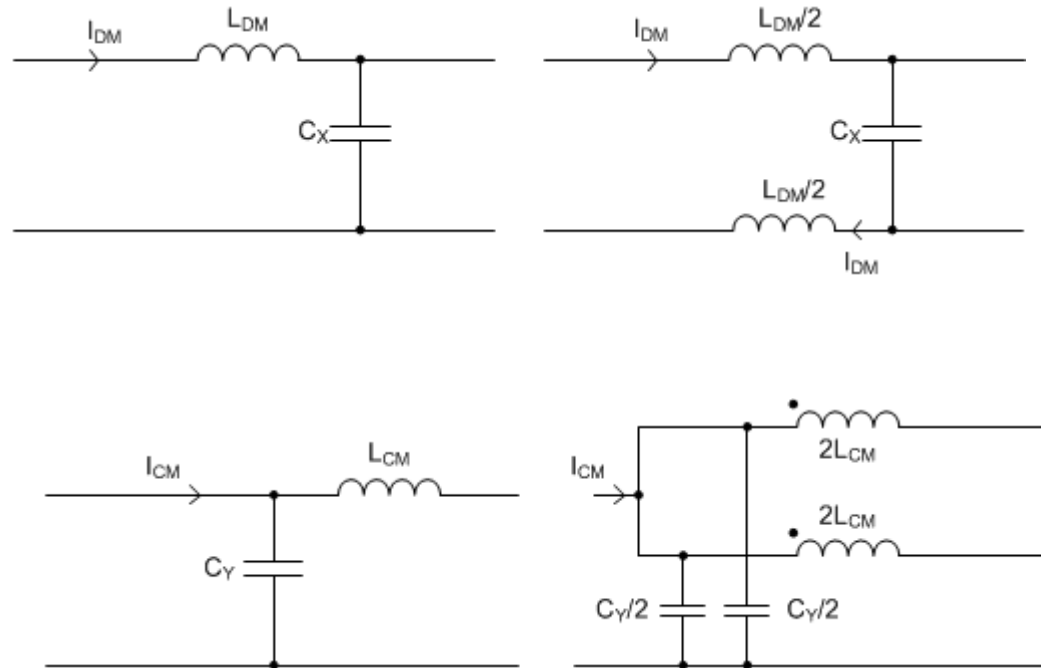
$$f_{res,DM} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{DM}C_X}}$$

$$f_{res,CM} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{CM}C_Y}}$$

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Postopek gradnje sofaznega in protifaznega filtra

5. Izvedba filtriranja protifaznih in sofaznih emisij mora biti izvedena simetrično – tako se izognemo težavi, da sofazni izvor povzroči protifazne emisije in protifazni izvor sofazne emisije.



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra
 - Nasičenje gradnikov filtra (v katerih maksimalnih delovnih točkah bo deloval U_{\max} in I_{\max})
 - Tehnologija izdelave (kako bo izdelano) – 5 kos ali 5 Mkos
 - Parazitne lastnosti pasivnih gradnikov.
 - Omejevanje (zmanjšanje) presluhov.
 - Layout tiskanine.

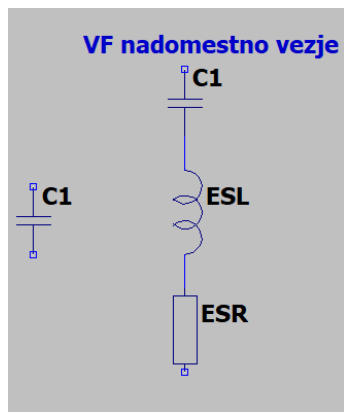
Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra
 - Nasičenje gradnikov filtra (v katerih maksimalnih delovnih točkah bo deloval U_{\max} in I_{\max})
 - Tehnologija izdelave (kako bo izdelano) – 5 kos ali 5 Mkos
 - **Parazitne lastnosti pasivnih gradnikov.**
 - **Omejevanje (zmanjšanje) presluhov.**
 - **Layout tiskanine.**

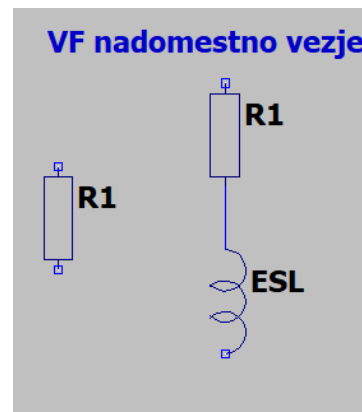
Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra
 - Parazitne lastnosti pasivnih gradnikov – zmanjšujejo učinkovitost filtrov – manjše dušenje

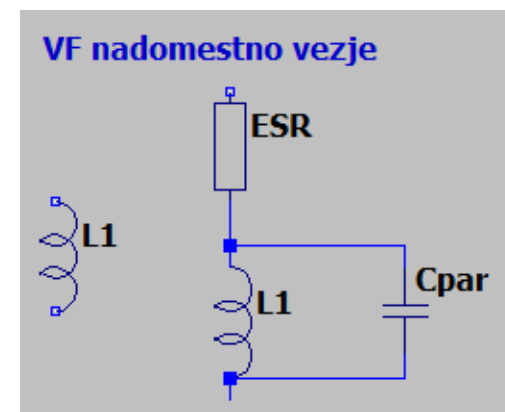
kondenzator



upor



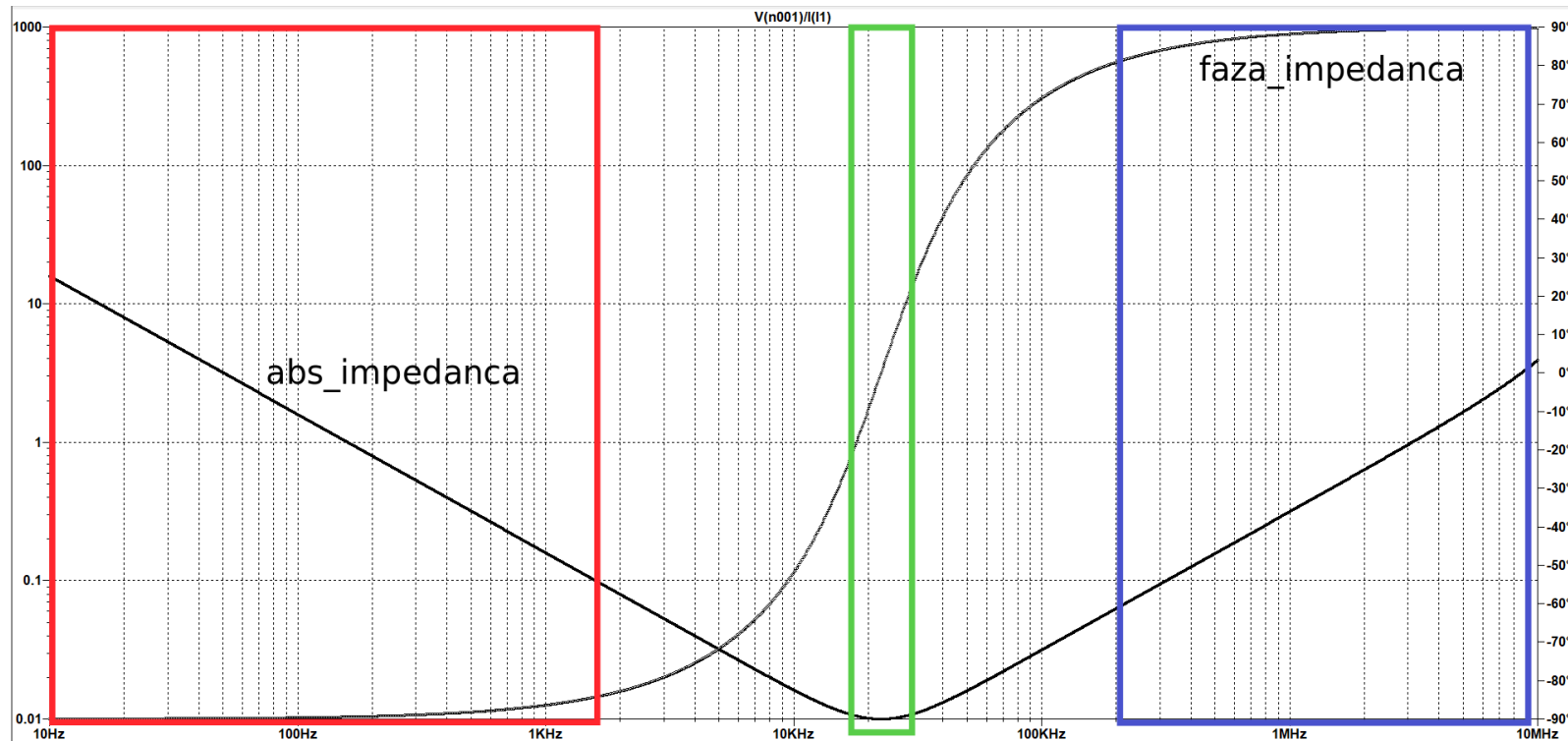
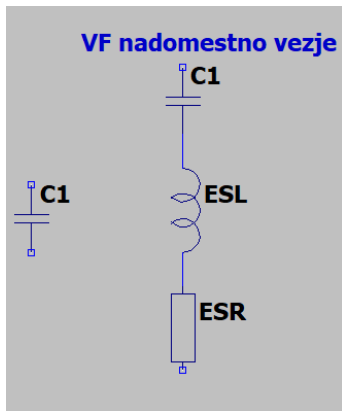
dušilka



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra
 - Parazitne lastnosti pasivnih gradnikov.

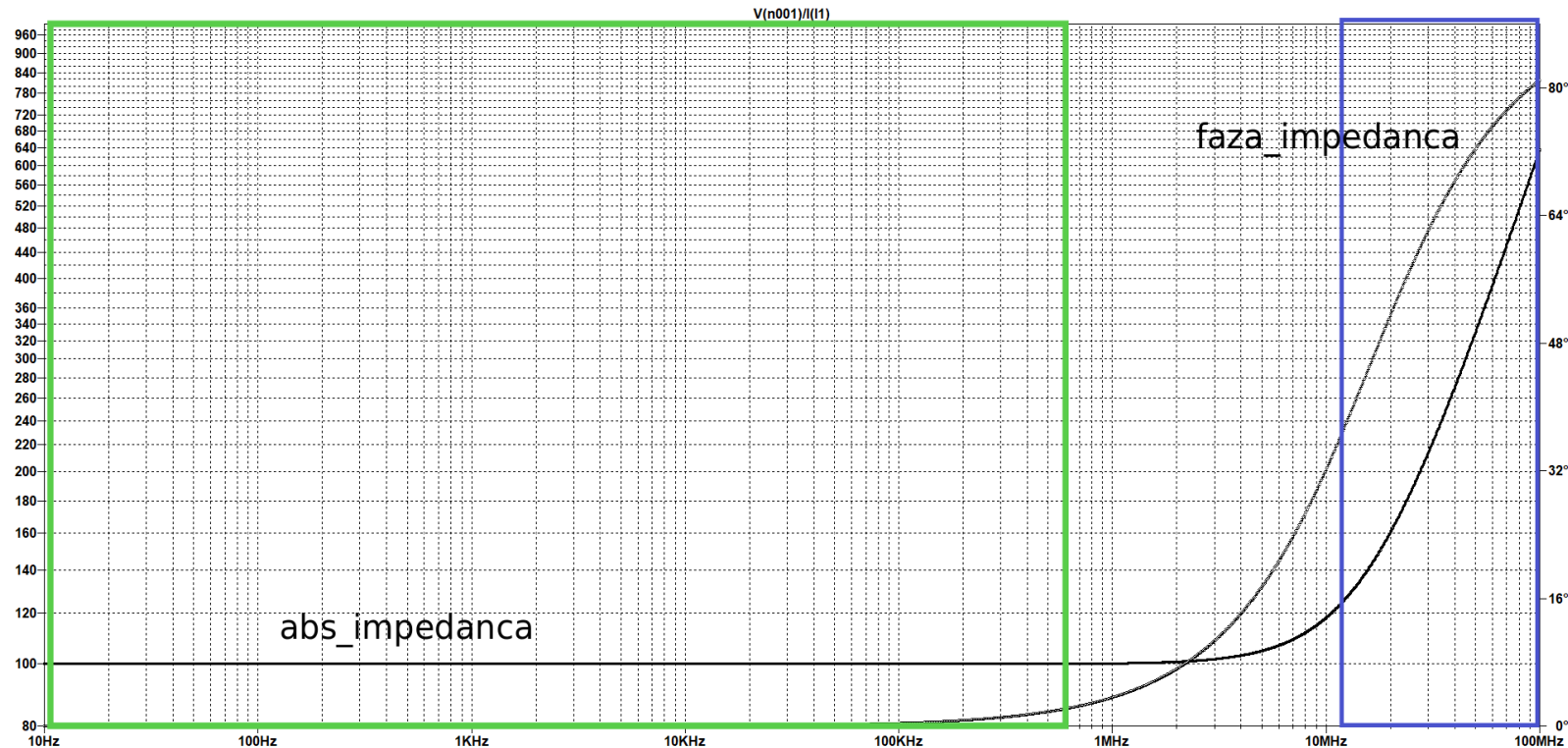
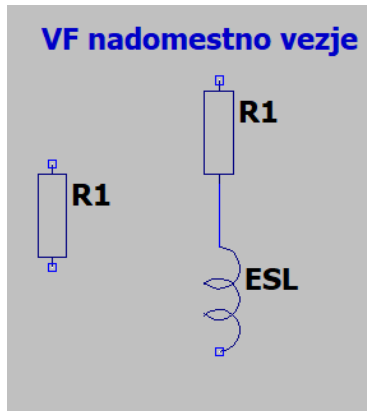
Primer impedance kondenzatorja (C=1mF, ESR=10mOhm, ESL=40nH)



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra
 - Parazitne lastnosti pasivnih gradnikov.

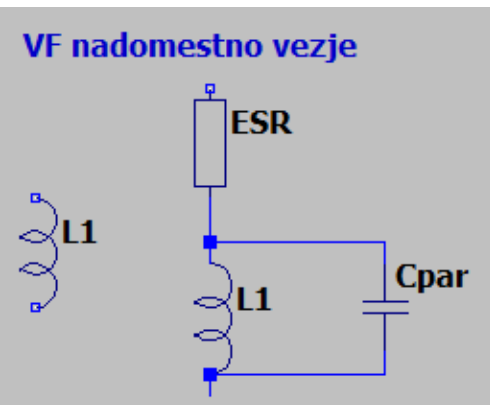
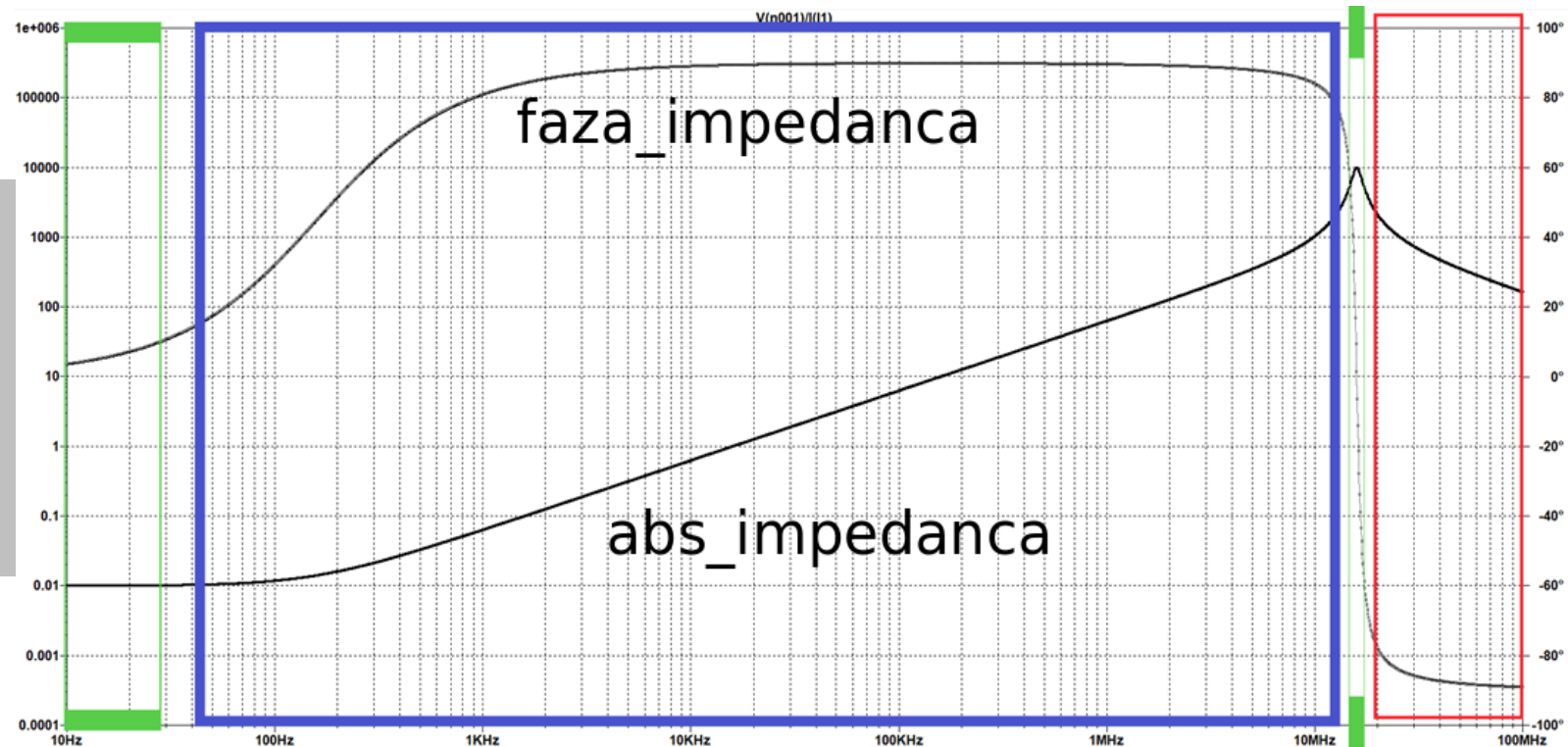
Primer impedance upora (R=100Ohm, ESL=1μH)



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra
 - Parazitne lastnosti pasivnih gradnikov.

Primer impedance dušilke ($L=10\mu\text{H}$, $\text{ESR}=10\text{m}\Omega$, $C_{\text{par}}=10\text{pF}$)



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra
 - **Omejevanje (zmanjšanje) presluhov:**
 - Prevodni,
 - Kapacitivni (električni),
 - Induktivni (magnetni),
 - Sevalni (elektromagnetni).

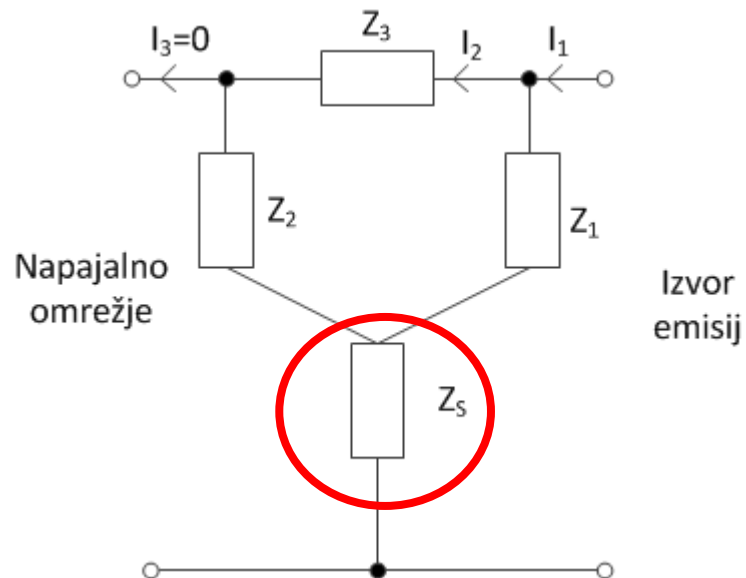
Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra

- Omejevanje (zmanjšanje) presluhov:

- Prevodni

Primer: V vhodnem delu in izhodnem delu filtra je skupna impedanca, ki slika emisijo iz vhoda filtra na izhod.



$I_1 \gg I_2$, če gradimo učinkovit filter
 $V_{skupna} \cong I_1 * Z_s$

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

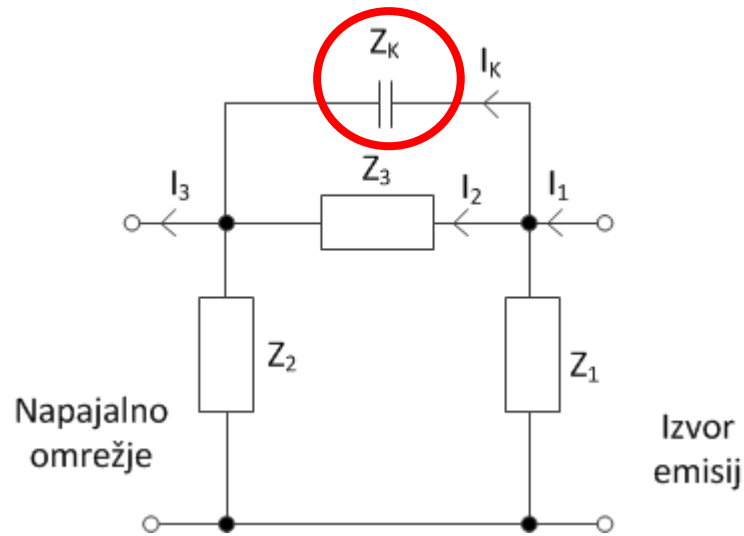
- Izzivi pri gradnji filtra

- Omejevanje (zmanjšanje) presluhov:

- Kapacitivni (električni),

Z_3 – impedanca dušilke, ki želimo, da je čim večja.

Z_K – parazitna kapacitivnost, ki nam pri višjih frekvencah manjša impedanco dušilke -> manjša dušenje filtra



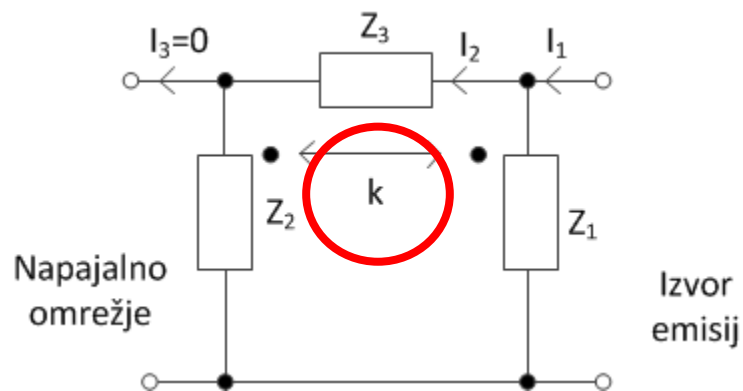
Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra

- Omejevanje (zmanjšanje) presluhov:

- Induktivni (magnetni),

Induktivna dela impedanc Z_1 (L_1) in Z_2 (L_2) sta magnetno sklopljena s faktorjem sklopa k



$I_1 \gg I_2$, če gradimo učinkovit filter

$$|V_{\text{napajalno_omrežje}}| \cong \omega k \sqrt{L_1 L_2} I_1$$

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra

- **Omejevanje (zmanjšanje) presluhov:**

- Sevalni (elektromagnetni).

Redkejši pojav kot prevodni, kapacitivni, induktivni presluhi.

Navadno problem pri meritvah z anteno -> izsevanje emisij močnostnega dela, kondenzatorskega bloka, ki se jih izmeri z anteno. Noben filter ne pomaga. Pomaga zastiranje, drugačen layout in konstrukcija.

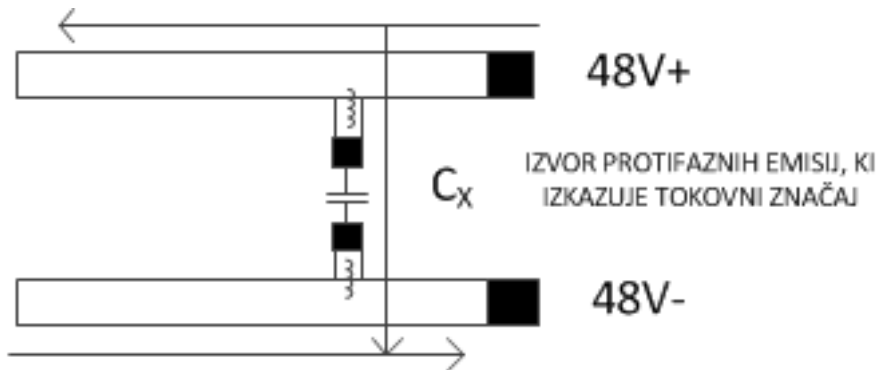
Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra

- Layout tiskanine.

- Priključi kondenzator tako, da ne povečaš njegove induktivnosti ter čim bližje izvoru

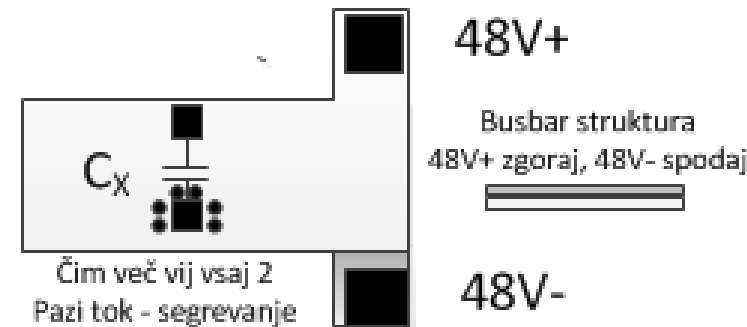
SLABO



BOLJŠE



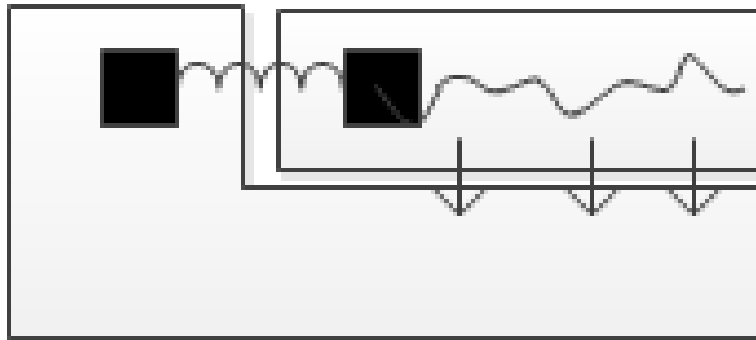
ŠE BOLJŠE



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra
 - **Layout tiskanine.**
 - Filtrirne dušilke in tuljave, ki hranijo energijo, drži čim bolj proč od kovinskih delov. kapacitivni presluhi -> sklop emisij na ostale dele in povečanje Cpar
 - Pazi kako spelješ linije pred in za dušilko -> Cpar

Kondenzator pri VF



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

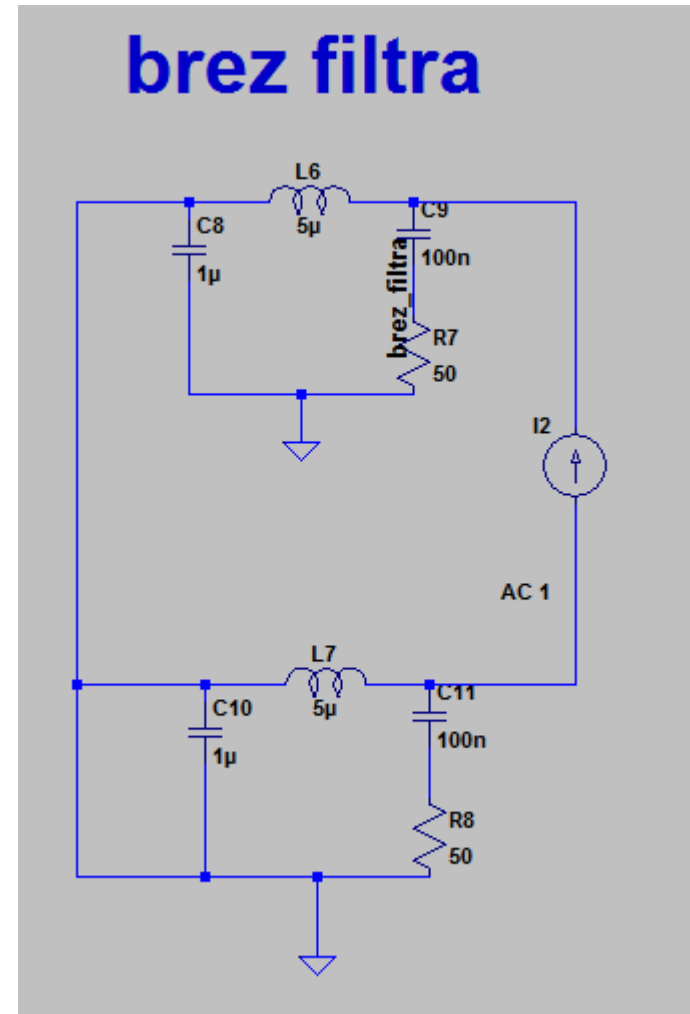
- Izzivi pri gradnji filtra
 - **Layout tiskanine.**
 - Strukture, ki so udeležene pri pretakanju energije (stikala, kondenzatorska banka, gladilne tuljave in gladilni kondenzatorji) drži čim bolj proč od priključkov, da preprečiš sklope pri višjih frekvencah.
 - Te strukture naj bodo čim manjše -> majhne zanke -> majhno sevanje in sklopi

Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra

- Primer vpliva parazitov in magnetnega sklopa.

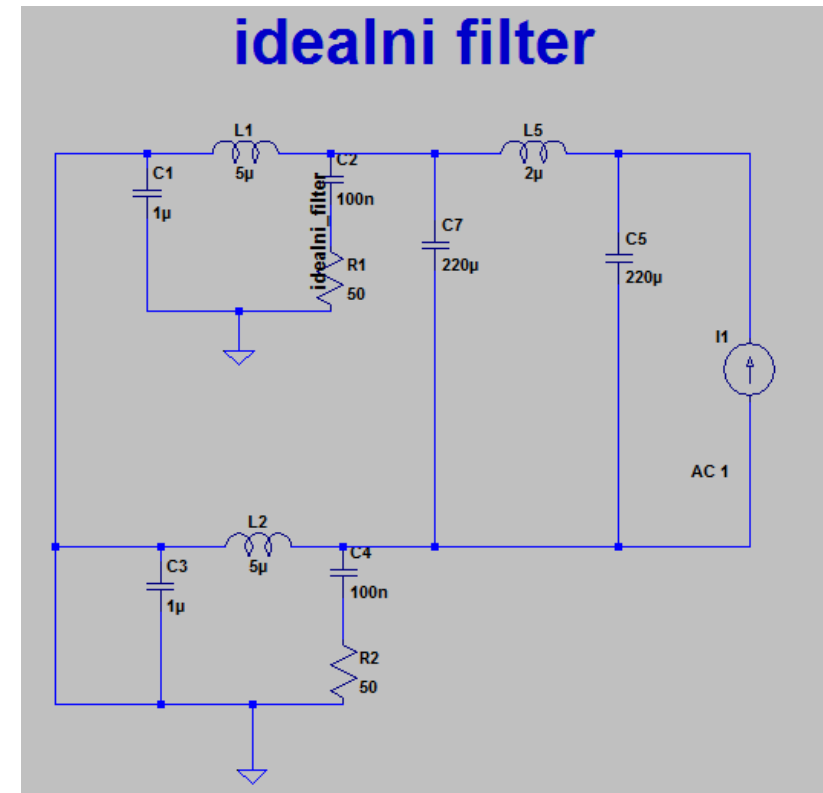
- Protifazni vir emisij s konstantno amplitudo 1ARMS čez celotno frekvenčno področje,
 - Protifazni vir emisij zaključujeta dve CISPR25 LISN vezji.
 - Merimo napetost na 50 Ohm merilnem priključku LISN vezja.



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

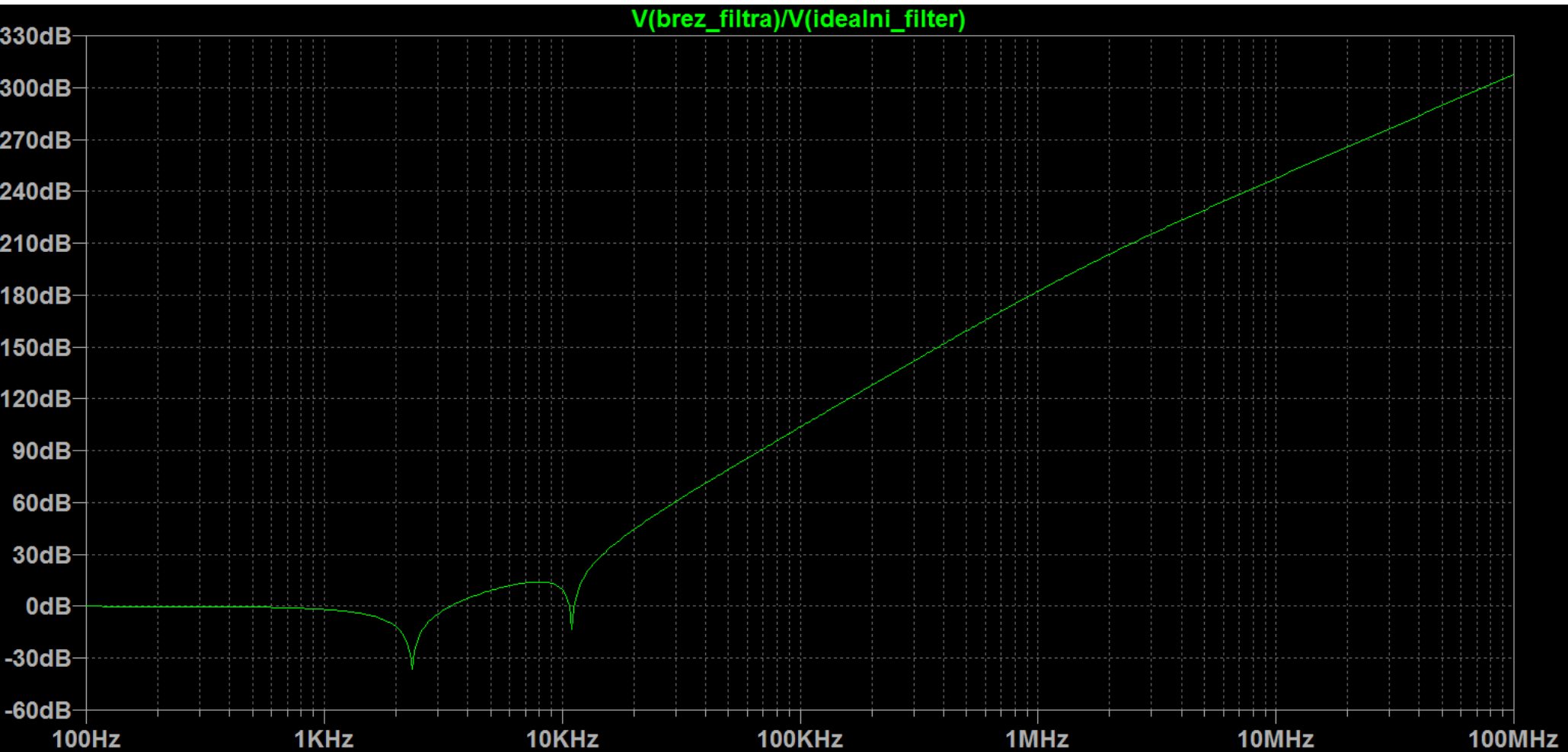
- Izzivi pri gradnji filtra
 - **Primer vpliva parazitov in magnetnega sklopa.**
 - ❑ Med protifazni vir emisij postavimo CLC idealni filter.
Upoštevamo gradnike brez parazitov, presluhov.
 - ❑ Izračunamo dušenje filtra:

$$A_{filter} = 20 \log_{10} \left| \frac{v_{brez_filtra}}{v_{filter}} \right|$$



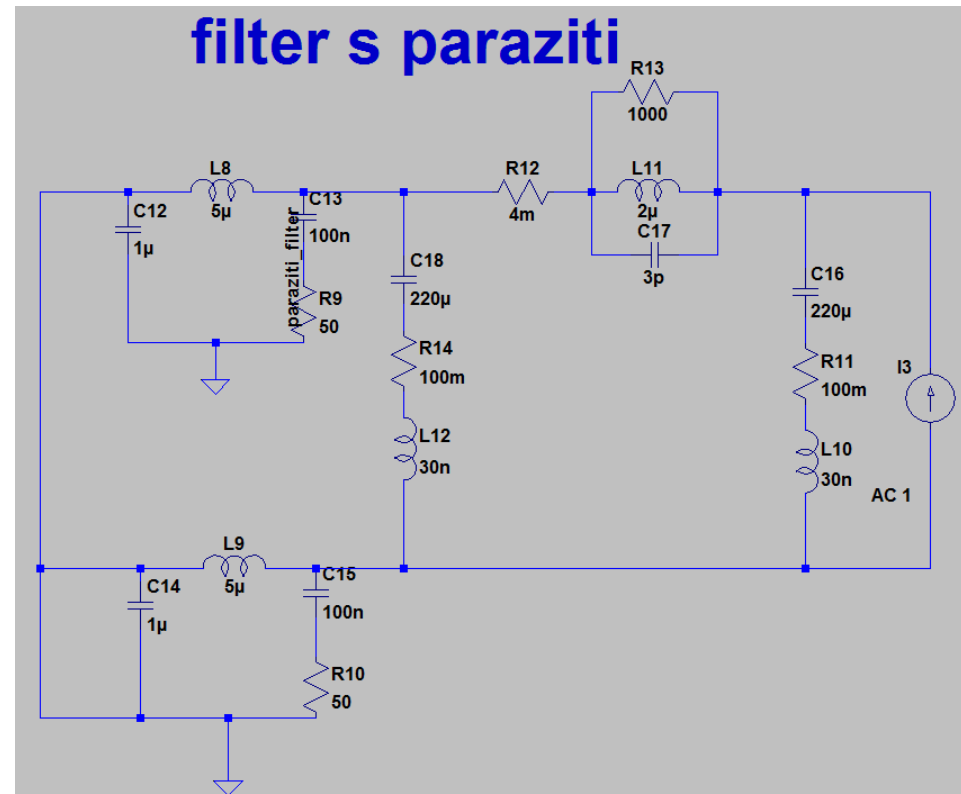
Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

Dušenje idealnega filtra



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

- Izzivi pri gradnji filtra
 - **Primer vpliva parazitov in magnetnega sklopa.**
 - ❑ Pri CLC filtru upoštevamo gradnike s paraziti, brez presluhov.
 - ❑ Primerjamo oba izračuna:



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

Dušenje idealnega filtra (zelena) in dušenje filtra s paraziti (modra)



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

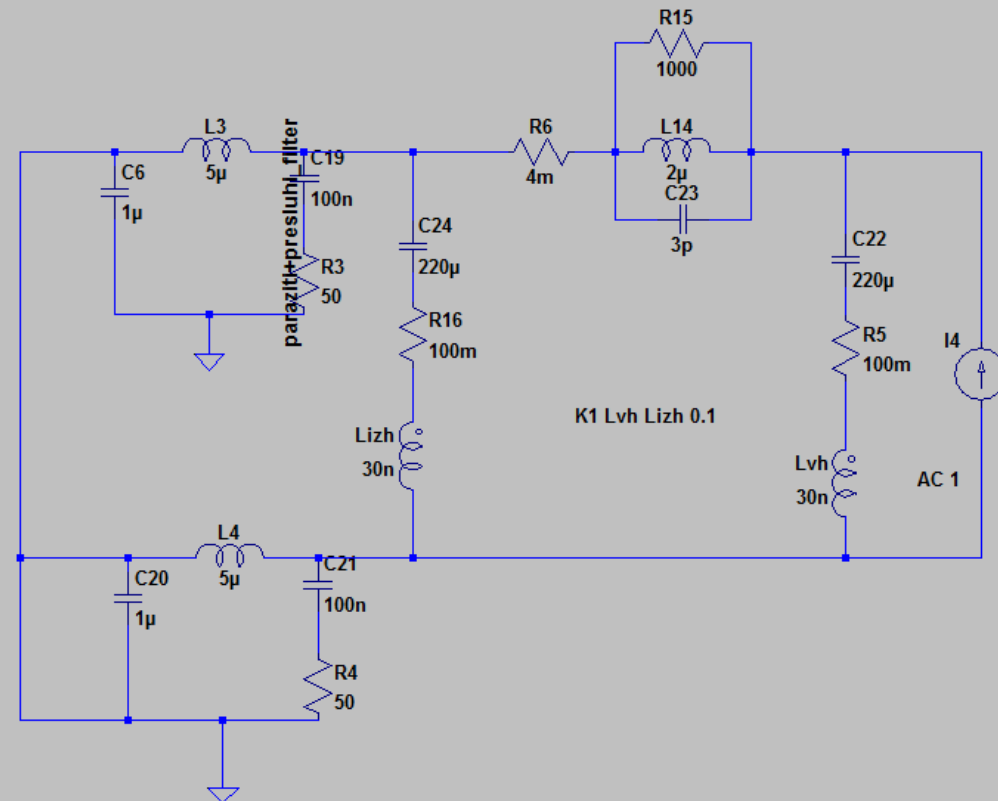
- Izzivi pri gradnji filtra

- Primer vpliva parazitov in magnetnega sklopa.

- Pri CLC filtru upoštevamo gradnike s paraziti in magnetnih presluh med vhodnim kondenzatorjem in izhodnim kondenzatorjem. Faktor sklopa 0.1 (10%).

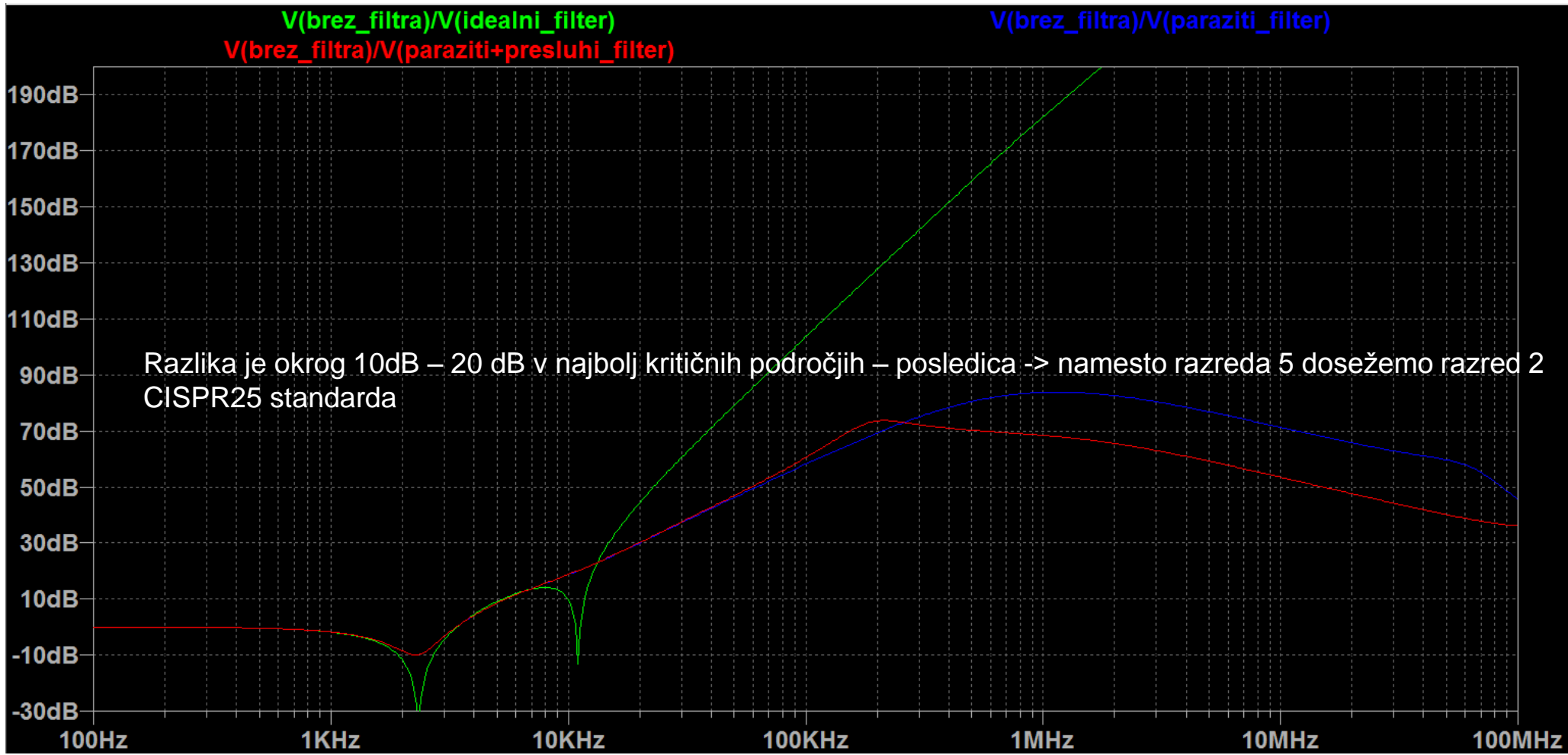
- Primerjamo vse tri izračune:

filter s paraziti + magnetnim sklopom



Gradnja filtrov za zmanjšanje prevodnih emisij

Dušenje idealnega filtra (zelena), dušenje filtra s paraziti (modra) in dušenje filtra s paraziti + mag. sklop (rdeča)



Hvala za pozornost !

Veliko sreče pri načrtovanju.