

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

Stran 1/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008

Verzija	Št. obvestila	Avtor	Opis spremembe
001	/	Dr. Gregor Ergaver	Prva izdaja
002	/	Jernej Sorta	Pregled in dopolnitev predloga
003	/	Dr. Gregor Ergaver	- Dopolnitev zahtev z valovitostjo izhoda. - Dodani grafi class 5 zahtev za emisije. - Uskladitev časovnega plana.
004	/	doc. dr. Marko Jankovec	- dopolnitev logotipov - sprememba priporočenega priključka - popravek napak
005	/	doc. dr. Marko Jankovec	- dopolnitev terminskega plana - dopolnitev električnih zahtev - dopolnitev možnosti izdelave TIV
006	/	Jernej Sorta	- dopolnitev meril za ocenjevanje - popravek izrazov
007	/	doc. dr. Marko Jankovec	- dopolnitev meril za ocenjevanje - popravek izrazov
008	/	doc. dr. Marko Jankovec Dr. Gregor Ergaver	- dopolnitev podatkov za tekmovanje 2019 - dodana zahteva za doseganje standardov EMC - popravljeno ime podjetja

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

Stran 2/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008

Kazalo

1. Uvod.....	3
2. Načrtovalske zahteve.....	4
3. Opis projekta.....	7
4. Ocenjevanje	8
5. EMC zahteve	11

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

Stran 3/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008

1. Uvod

Namen te listine je določiti nalogo za tekmovalce, ki so se prijavi na delavnico in tekmovanje "Načrtovanje elektronike za EMC 2019".

Zahteve naloge so, da tekmovalec sam prevzame celotno nalogo in jo izvede s čim manj podpore.

Poseben poudarek naloge je na:

- Izbiri ustreznih elektronskih gradnikov in izračunu njihovih vrednosti.
- Analizi vezja in dopolnitvi osnovne sheme z vsemi potrebnimi gradniki.
- Načrtovanju tiskanega vezja na osnovi zahtev.
- Naročilu materiala in izdelavi tiskanega vezja.
- Preizkušanju vezja in izvedbi izboljšav.

Potrebna oprema bo na voljo na FE ali v MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o. po dogovoru.

Časovni okvir dela je april – avgust 2019.

Predviden časovni raspored:

- 3.6. Naročilo materiala Würth elektronik in tiskanih vezij
- 23.8. Oddaja izdelanih končanih projektov.
- 2.9. – 6.9. – Izvedba EMC meritev v MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o.
- 23.9. Razglasitev rezultatov.

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

Stran 4/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008

2. Načrtovalske zahteve

Cilj je razviti, izdelati in preizkusiti močnostni stikalni pretvornik navzdol z naslednjimi zahtevami:

Električne zahteve

Prevodne povezave tiskanega vezja morajo biti galvansko ločene od hladila. Kapacitivne povezave med hladilom in prevodnimi deli tiskanega vezja so dovoljene.

Tabela 1: Električne zahteve

Lastnost	Vrednost	Opomba
Topologija	DC/DC pretvornik navzdol	Krmilno vezje LM5117-Q1
Območje vhodne napetosti	36 V – 60 V	
Območje nastavljene izhodne napetosti	14 V $\pm$ 0,7V	
Vršna vrednost valovitosti izhodne napetosti	0,2 V	Pri osnovni frekvenci
Vršna vrednost valovitosti izhodne napetosti	0,5 V	Vse skupaj
Območje izhodnega toka	[1,4 – 7] A	Pretvornik mora v predpisanem območju delovati v neprekinjenem režimu.
Izhodno breme	Upornost 2 Ohm – 7 A (cca. 100W) Upornost 10 Ohm – 1.4A (cca. 20W)	Bremena pripravi MAHLE.
Izkoristek pretvornika	Večji od 75%	Merjen pri 48V vhodni napetosti in pri maksimalnem izhodnem toku 7A.
Dolgotrajno delovanje	Največji dovoljeni temperaturi T_s in T_j glede na podatke komponent	Nobena komponenta ne sme biti preobremenjena pri temperaturi okolice 25 °C. Lega vezja je vodoravna, položena na mizo s hladilnim telesom navzdol.

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

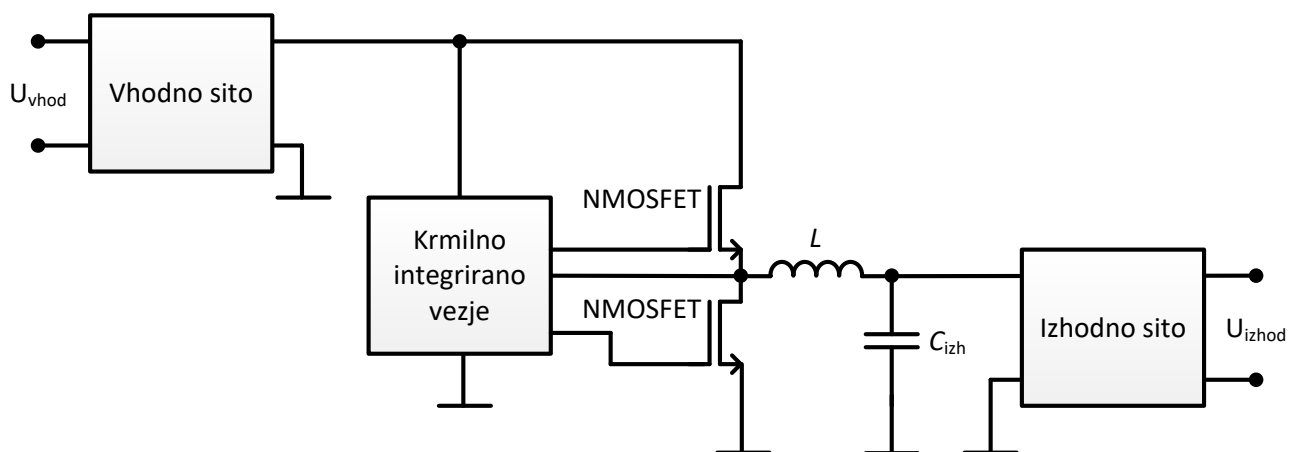
Datum 22.3.2019

Stran 5/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

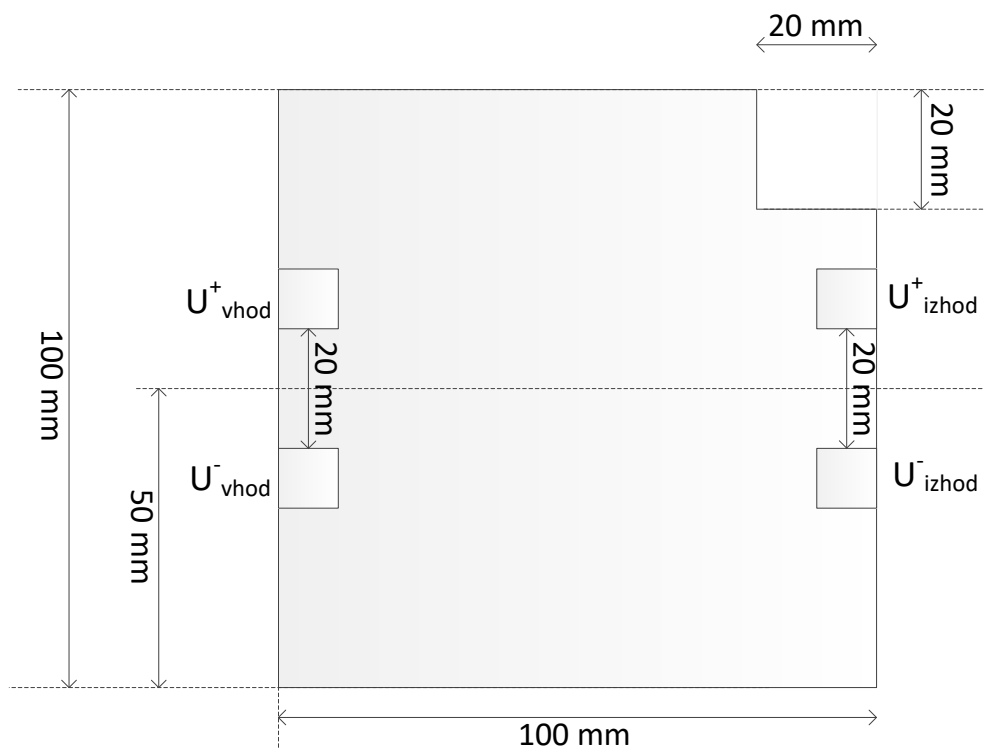
Id.-Št.

Verzija 008



Slika 1: Osnovna shema pretvornika navzdol s krmilnim integriranim vezjem in zunanjimi stikali

Mehanske zahteve



Slika 2: Mehanske zahteve za tiskano vezje

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

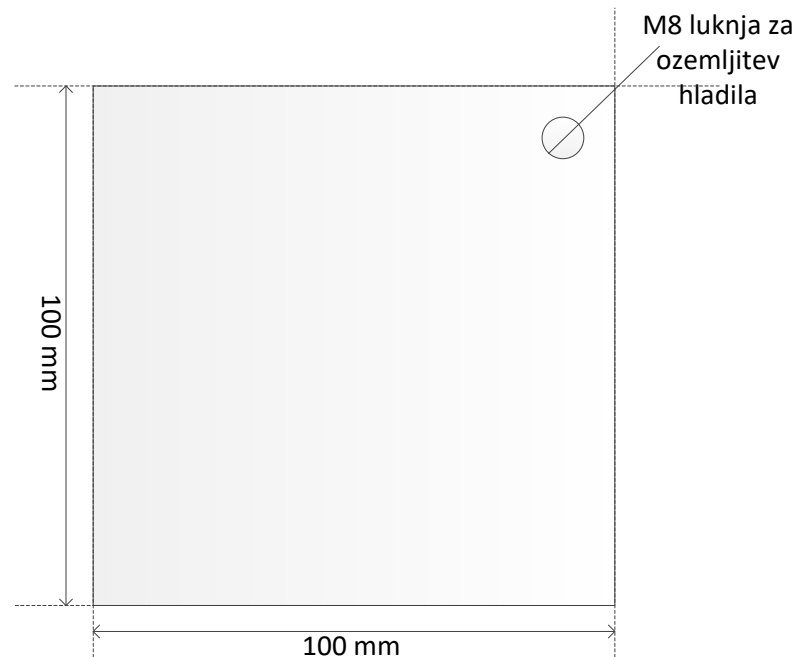
Datum 22.3.2019

Stran 6/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008



Slika 3: Mehanske zahteve hladila

- **Tiskano vezje:** dvoslojno vezje FR-4 1.6 mm debelina dielektrika, velikosti do 100 x 100 mm
- **Hladilo:** (100x100x32)mm <http://si.farnell.com/h-s-marston/890sp-01000-a-100/heat-sink-100mm/dp/4105977>
- **Vhodne sponke in izhodne sponke:** http://katalog.we-online.com/en/em/WP-PLUG_DIRECT_PLUG#vs_t1:1
- Paziti pri montaži tiskanega vezja na hladilo (kratki stiki). Hladilo galvansko ločeno od tiskanega vezja.

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

Stran 7/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008

3. Opis projekta

3.1 Shema

Vezje sestoji iz ene tiskanine, ki vključuje vhodne in izhodne priključke ter vezje močnostnega stikalnega napajalnika.

Podana so naslednja izhodišča:

- Načrtovalske zahteve.
- Topologija.
- Predlagan nabor gradnikov (integrirano vezje, hladilo, vhodni in izhodni priključki).
- Altium knjižnice s potrebnimi gradniki in osnovno shemo bomo zgradili na tečaju Osnov Altiuma in delili z vsemi udeleženci delavnice.

Določiti je potrebno:

- Osnovno shemo glede na priporočila proizvajalca integriranega vezja.
- Parametre stikalnega pretvornika glede na načrtovalske zahteve.
- Vrednosti in vrste gradnikov, npr. iz kataloga Würth elektronik glede na načrtovalske zahteve in dane zahteve po elektromagnetni združljivosti.

3.2 Tiskano vezje

Vaša naloga je:

- Načrtati dvostransko tiskano vezje FR-4, debeline 1.6 mm z upoštevanjem izmer tiskanega vezja, podanih na sliki 2.
- Pri načrtovanju vezja je treba predvsem paziti na elektromagnetne lastnosti vezja (poudarek na prevodnih in sevalnih emisijah).
- Tiskano vezje izdelati, sestaviti in preizkusiti.

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

Stran 8/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008

4. Ocenjevanje

Ocenjevali bomo vezja, ki bodo oddana do navedenega roka za oddajo. Poleg vezja je potrebno oddati popolno dokumentacijo in sicer: Shemo in načrt tiskanega vezja z oznakami elementov (datoteke altium ali pdf) in seznam elementov (BOM), ki za vsak element vsebuje oznako, naziv in kodo proizvajalca ter dobavitelja in ceno za 1000 izdelanih elektronik.

Ocenjevalna merila bodo obsegala:

1. Doseganje danih načrtovalskih zahtev:

- za načrtovalske zahteve, če so vse zahteve izpolnjene:

$$T_{zah} = 10 \text{ točk}$$

- za izkoristek. Za točkovanje izkoristka velja enačba:

$$T_{izk} = (D_{izk}[\%] - 75\%) \text{ točk}$$

Pri čemer je:

$D_{izk}[\%]$... izmerjen izkoristek pretvorbe napetosti v odstotkih

2. Doseganje elektromagnetne združljivosti - emisije

- Prevodne emisije**

pod class 1 limitami $\rightarrow TCE_{class1} = 0$ točk

pod class 2 limitami $\rightarrow TCE_{class2} = 5$ točk

pod class 3 limitami $\rightarrow TCE_{class3} = 10$ točk

pod class 4 limitami $\rightarrow TCE_{class4} = 20$ točk

pod class 5 limitami $\rightarrow TCE_{class5} = 35$ točk

$$TCE = TCE_{classx} + DCE_{točke}$$

Pri čemer je:

TCE ... skupno število doseženih točk za skladnost z zahtevami po prevodnih emisijah

TCE_{classx} ... število točk za dosego skladnosti z razredom prevodnih emisij

$DCE_{točke}$... dodatno število točk med razredi prevodnih emisij

- Sevalne emisije**

pod class 1 limitami $\rightarrow TRE_{class1} = 0$ točk

pod class 2 limitami $\rightarrow TRE_{class2} = 5$ točk

pod class 3 limitami $\rightarrow TRE_{class3} = 10$ točk

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

Stran 9/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008

pod class 4 limitami → $TRE_{class4} = 20$ točk

pod class 5 limitami → $TRE_{class5} = 35$ točk

$$TRE = TRE_{classx} + DRE_{točke}$$

Pri čemer je:

TRE ... skupno število doseženih točk za skladnost z zahtevami po sevalnih emisijah

TRE_{classx} ... število točk za doseg skladnosti z razredom sevalnih emisij

$DRE_{točke}$... dodatno število točk med razredi sevalnih emisij

Med razredoma se število točk enakomerno porazdeli linearno z razmerjem med enim in drugim razredom in razliko med višjo mejo in nivojem emisije pri najbolj kritični frekvenci.

Enačba za izračun dodatnih točk:

$$Dxx_{točke} = \frac{Txx_{class}(D+1) - Txx_{class}(D)}{(L_{class}(D) - L_{class}(D+1))@f_{kritična}} * (L_{class}(D) - L_{izm})@f_{kritična}$$

pri čemer je:

$Dxx_{točke}$... dodatno število točk med razredi

$Txx_{class}(D+1)$... točke za en razred višji od doseženega

$Txx_{class}(D)$... točke za doseženi razred

$L_{class}(D)@f_{kritična}$... meja doseženega razreda pri kritični frekvenci

$L_{class}(D+1)@f_{kritična}$... meja za en razred višja od doseženega razreda pri kritični frekvenci

$L_{izm}@f_{kritična}$... izmerjeni nivo pri kritični frekvenci

Najbolj kritična motnja je pri tisti frekvenci (kritični frekvenci), kjer je nivo emisij najbližje nižjemu razredu mej.

Primer točkovanja prevodnih emisij:

T1(f=180 kHz, nivo 86 dBuV, 4 dBuV pod class 3 mejo)

T2(f=780 kHz, nivo 69 dBuV, 1 dBuV pod class 3 mejo)

Najbolj kritična frekvenca je 780 kHz v točki T2.

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

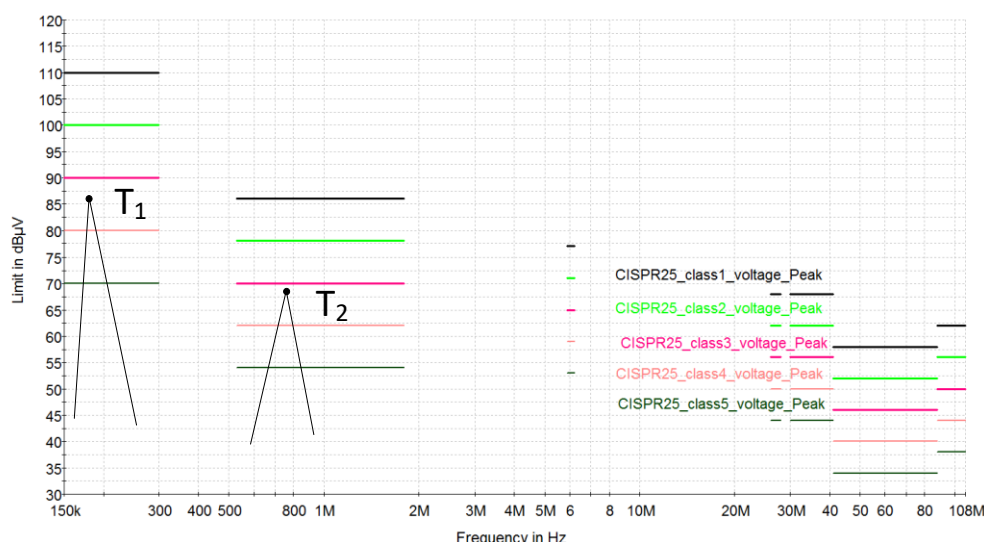
Datum 22.3.2019

Stran 10/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008



Točkovanje:

Presega class 4 emisije, dosega class 3 emisije torej **10 točk**.

Dodatno še (class4-class3) :

$$DCEtočke = \frac{TCE_{class4} - TCE_{class3}}{(L_{class3} - L_{class4})@f_{kritična}} * (L_{class3} - L_{izm})@f_{kritična}$$

$$DCEtočke = \frac{20 \text{ točk} - 10 \text{ točk}}{(70 \text{ dBuV} - 62 \text{ dBuV})@780 \text{ kHz}} * (70 \text{ dBuV} - 69 \text{ dBuV})@780 \text{ kHz}$$

$$DCEtočke = 1,25 \text{ točke}$$

Skupaj število točk za skladnost z zahtevami po prevodnih emisijah

$$TCE = TCE_{class3} + DCEtočke$$

$$TCE = 10 \text{ točk} + 1,25 \text{ točk} = 11,25 \text{ točk}$$

Če naprava dobi 0 točk skupno za doseganje EMC, je diskvalificirana.

3. Cena gradnikov

Za ceno izdelka se bo uporabilo cenik trgovine Farnell. Če element na Farnellu ni dobavljiv, potem je drugi dobavitelj Mouser, kar označite v seznamu elementov. Uporabila se bo cenovna postavka za količino 1000 izdelanih elektronik. V ceno se bo vštelo le induktivne gradnike, kondenzatorje in tranzistorje. Induktivne gradnike in kondenzatorje izberite iz kataloga Würth elektronik.

Za vsak 1€ v končni ceni izdelka se bo pri ocenjevanju odbilo 2 točki, torej:

$$T_{cena} = 2 * \text{št}_{\text{€}}$$

4. Skupno število točk:

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

Stran 11/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

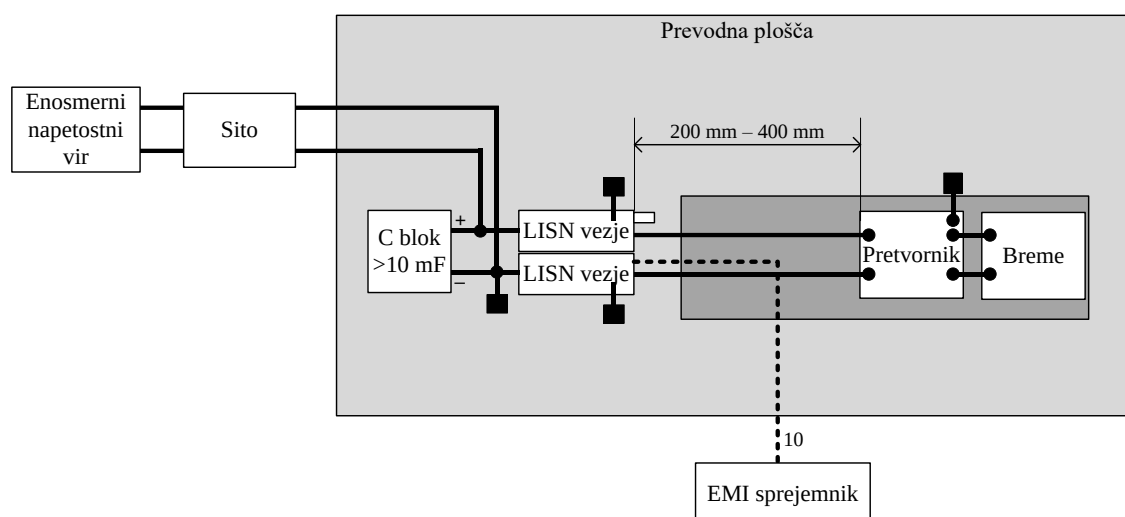
Verzija 008

Je vsota točk dobljenih iz izpolnitev zahtev projekta, točk zaradi izkoristka pretvornika, točk iz izpolnitev zahtev po elektromagnetni združljivosti izdelka in odbitka točk zaradi cene.

$$T = T_{zah} + T_{izk} + T_{CE} + T_{RE} - T_{cena}$$

5. EMC zahteve

Močnostni stikalni pretvornik mora zadostiti zahtevam po nizkih prevodnih in sevalnih emisijah skladno s predpisom EN55025:2017. Slika 4 prikazuje pogled z vrha na merilno postavitev za merjenje prevodnih emisij v frekvenčnem področju 150 kHz – 108 MHz:



Slika 4: Pogled z vrha na merilno postavitev za merjenje prevodnih emisij

Tabela 2 podaja mejne vrednosti glede na razrede (class) zahtevnosti za prevodne emisije.

Tabela 2: Meje vrednosti glede na razrede (class) zahtevnosti za prevodne emisije

Frekvenčno področje [MHz]	Nivo [dBuV]														
	Class 5			Class 4			Class 3			Class 2			Class 1		
	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV
0,15 – 0,3	70	57	50	80	67	60	90	77	70	100	87	80	110	97	90
0,53 – 1,8	54	41	34	62	49	42	70	57	50	78	65	58	86	73	66
5,9 – 6,2	53	40	33	59	46	39	65	52	45	71	58	51	77	64	57
76 – 108	38	25	18	44	31	24	50	37	30	56	43	36	62	49	42
41 – 88	34	-	24	40	-	30	46	-	36	52	-	42	58	-	48

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

Stran 12/17

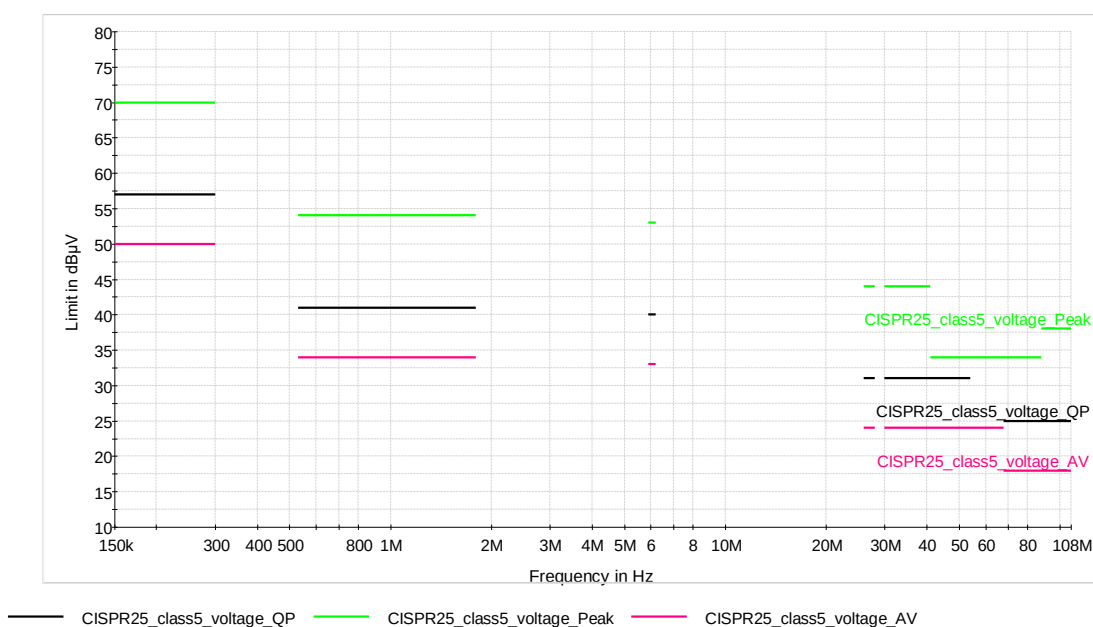
MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008

26 – 28	44	31	24	50	37	30	56	43	36	62	49	42	68	55	48
30 – 54	44	31	24	50	37	30	56	43	36	62	49	42	68	55	48
68 – 87	38	25	18	44	31	24	50	37	30	56	43	36	62	49	42

Slika 5 prikazuje graf mejnih vrednosti za razred (class) zahtevnosti 5 za prevodne emisije.



Slika 5: Graf mejnih vrednosti za razred (class) zahtevnosti 5 za prevodne emisije

Slika 6 prikazuje pogled z vrha na merilno postavitev za merjenje sevalnih emisij v frekvenčnem področju 150 kHz – 30 MHz:

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

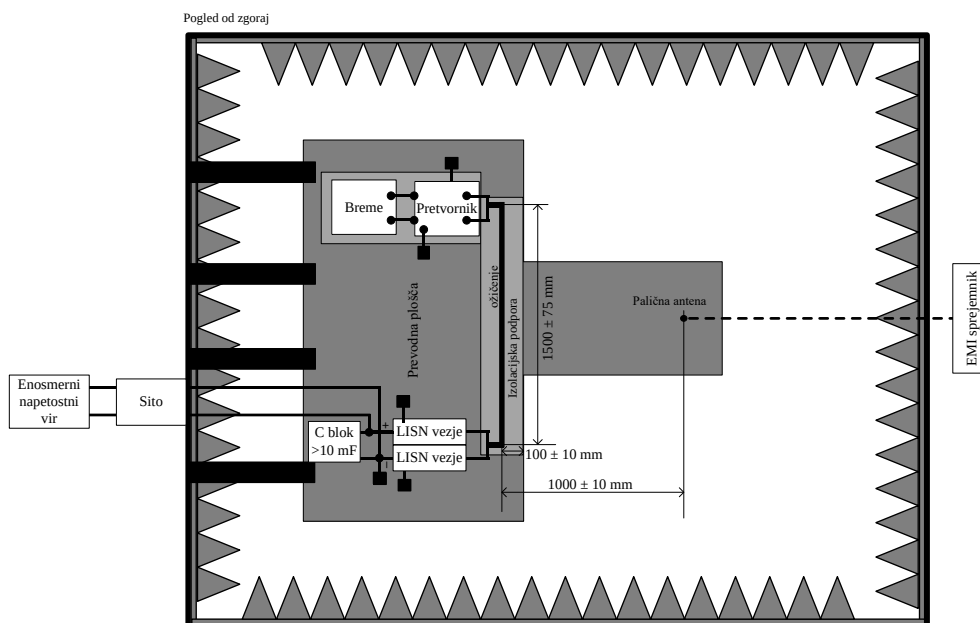
Datum 22.3.2019

Stran 13/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008



Slika 6: Pogled z vrha na merilno postavitev za merjenje sevalnih emisij v frekvenčnem področju 150 kHz – 30 MHz

Tabela 3 podaja mejne vrednosti glede na razrede (class) zahtevnosti za sevalne emisije v frekvenčnem področju 150 kHz – 30 MHz:

Tabela 3: Meje vrednosti glede na razrede (class) zahtevnosti za sevalne emisije v frekvenčnem področju 150 kHz – 30 MHz

Frekvenčno področje [MHz]	Nivo [dBuV/m]														
	Class 5			Class 4			Class 3			Class 2			Class 1		
	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV
0,15 – 0,3	46	33	26	56	43	36	66	53	46	76	63	56	86	73	66
0,53 – 1,8	40	27	20	48	35	28	56	43	36	64	51	44	72	59	52
5,9 – 6,2	40	27	20	46	33	26	52	39	32	58	45	38	64	51	44
26 – 28	40	27	20	46	33	26	52	39	32	58	45	38	64	51	44

Slika 7 prikazuje graf mejnih vrednosti za razred (class) zahtevnosti 5 za sevalne emisije v frekvenčnem področju 150 kHz – 30 MHz.

Načrtovalski izziv

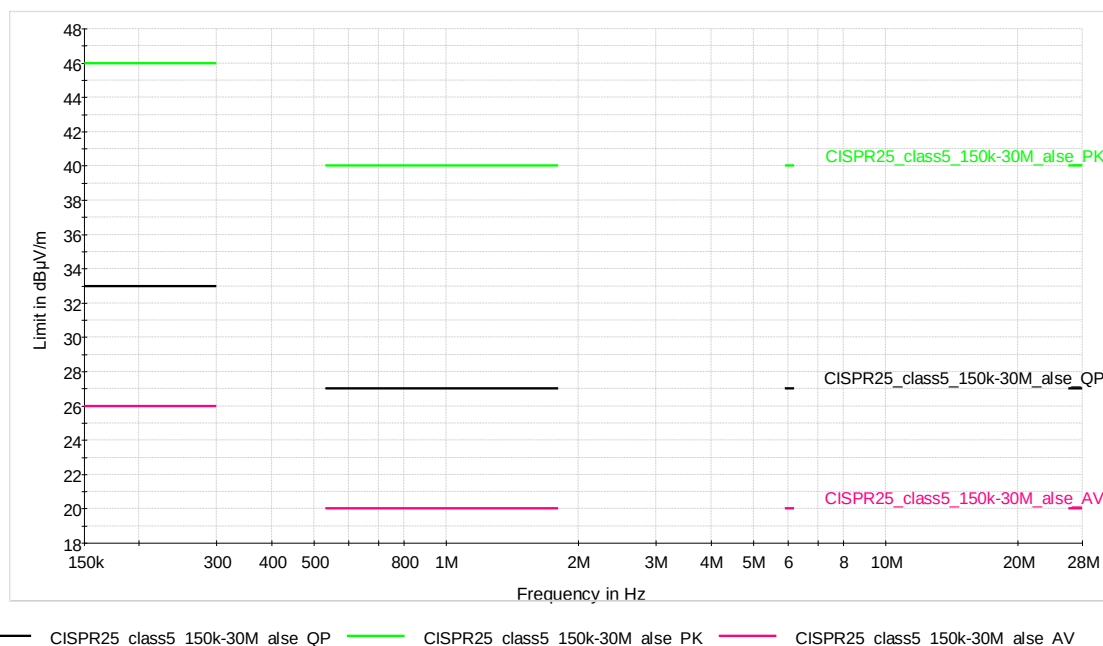
Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani
MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Datum 22.3.2019

Stran 14/17

Id.-Št.

Verzija 008



Slika 7: Graf mejnih vrednosti za razred (class) zahtevnosti 5 za sevalne emisije v frekvenčnem področju 150 kHz – 30 MHz

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

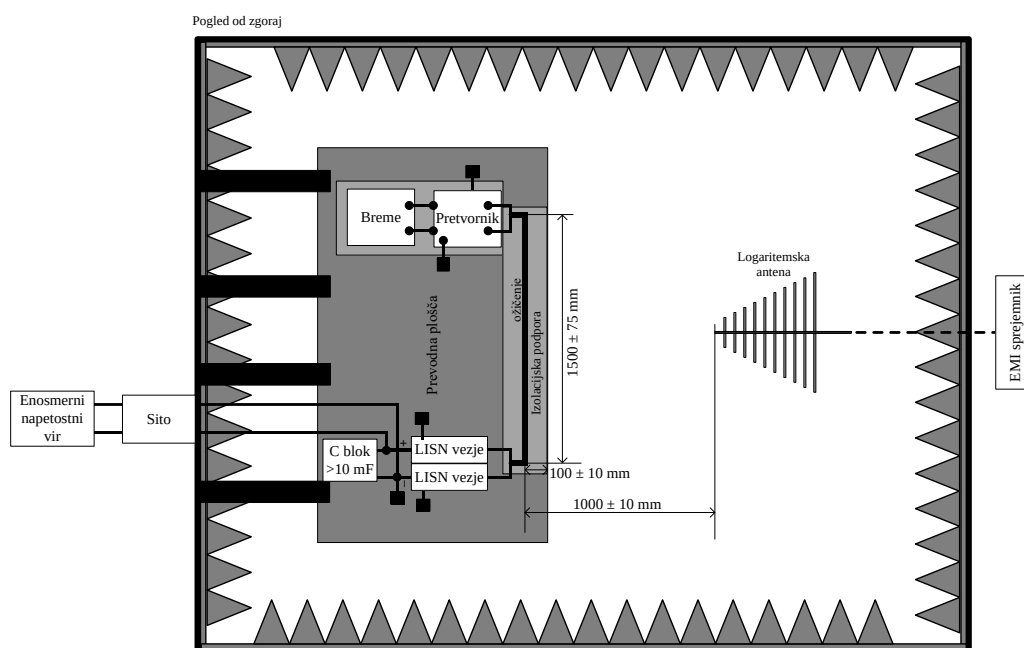
Stran 15/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008

Slika 8 prikazuje pogled z vrha na merilno postavitvev za merjenje sevalnih emisij v frekvenčnem področju 30 MHz – 1000 MHz:



Slika 8: Pogled z vrha na merilno postavitvev za merjenje sevalnih emisij v frekvenčnem področju 30 MHz – 1000 MHz

Tabela 4 podaja mejne vrednosti glede na razrede (class) zahtevnosti za sevalne emisije v frekvenčnem področju 30 MHz – 1000 MHz:

Tabela 4: Meje vrednosti glede na razrede (class) zahtevnosti za sevalne emisije v frekvenčnem področju 30 MHz – 1000 MHz

Frekvenčno področje [MHz]	Nivo [dBuV/m]														
	Class 5			Class 4			Class 3			Class 2			Class 1		
	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV
76 – 108	38	25	18	44	31	24	50	37	30	56	43	36	62	49	42
41 – 88	28	-	18	34	-	24	40	-	30	46	-	36	52	-	42
174 – 230	32	-	22	38	-	28	44	-	34	50	-	40	56	-	46
171 – 245	26	-	16	32	-	22	38	-	28	44	-	34	50	-	40
468 – 944	41	-	31	47	-	37	53	-	43	59	-	49	65	-	55
470 – 770	45	-	35	51	-	41	57	-	47	63	-	53	69	-	59
30 – 54	40	27	20	46	33	26	52	39	32	58	45	38	64	51	44

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

Stran 16/17

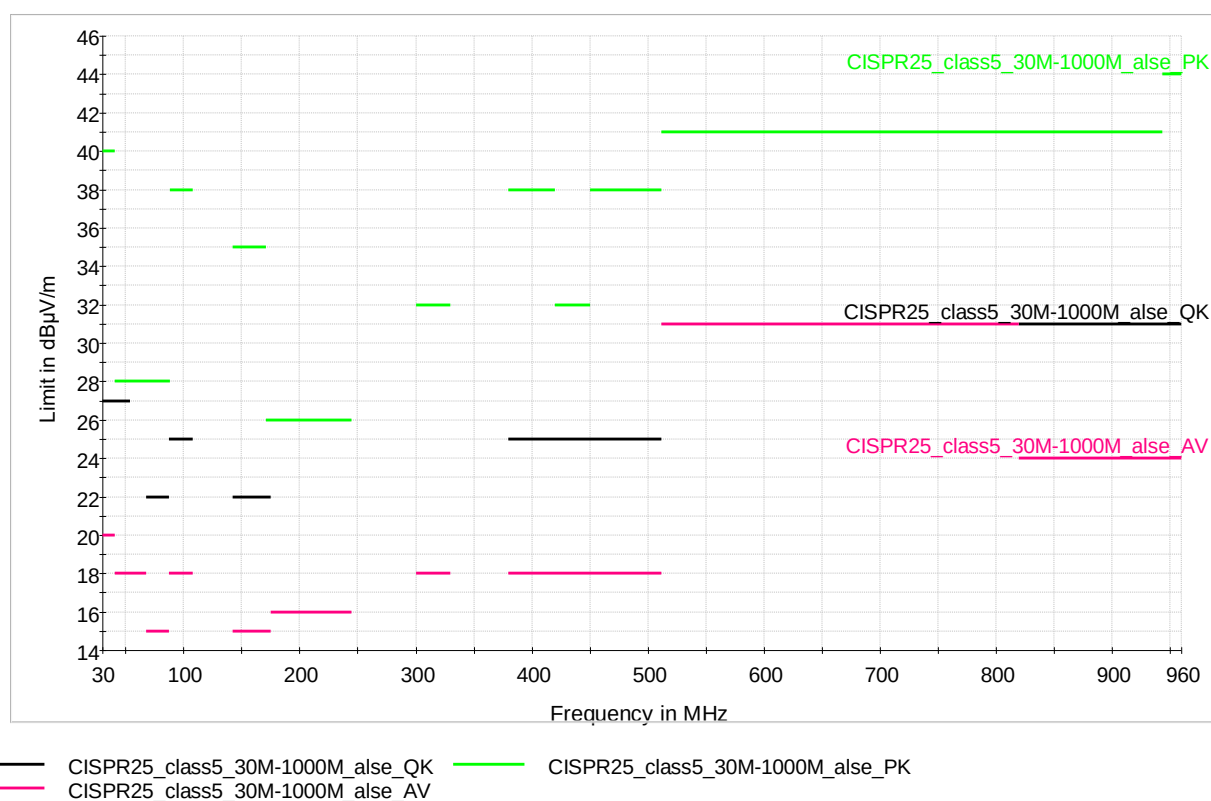
MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008

68 – 87	35	22	15	41	28	21	47	34	27	53	40	33	59	46	39
142 – 175	35	22	15	41	28	21	47	34	27	53	40	33	59	46	39
380 – 512	38	25	18	44	31	24	50	37	30	56	43	36	62	49	42
300 – 330	32	-	18	38	-	24	44	-	30	50	-	36	56	-	42
420 – 450	32	-	18	38	-	24	44	-	30	50	-	36	56	-	42
820 – 960	44	31	24	50	37	30	56	43	36	62	49	42	68	55	48
860 – 895	44	-	24	50	-	30	56	-	36	62	-	42	68	-	48
925 – 960	44	-	24	50	-	30	56	-	36	62	-	42	68	-	48

Slika 9 prikazuje graf mejnih vrednosti za razred (class) zahtevnosti 5 za sevalne emisije v frekvenčnem področju 30 MHz – 1000 MHz.



Slika 9: Graf mejnih vrednosti za razred (class) zahtevnosti 5 za sevalne emisije v frekvenčnem področju 30 MHz – 1000 MHz

Načrtovalski izziv

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

Datum 22.3.2019

Stran 17/17

MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o., Šempeter pri Gorici

Id.-Št.

Verzija 008