

Načrtovanje elektronike za EMC

Document Properties

Status:  Released

Version: v1.6

Author: Jaka Ivančič

Created: 2022-03-14 19:16

Approved Versions

Current Document version v1.6 is approved. Approved Versions:

- v1.6 (2023-02-27 18:14)

Document Signatures

Released (2023-02-27 18:14)



Jaka Ivančič Signed

2023-02-27 19:13

Version	Date	Changes	Author
1.0	14.3.2022	initial	J. Ivančič
1.1	17.3.2022	dodano: validacija, zahteve za generatorski režim	J. Ivančič
1.2	27.12.2022	popravki: opis dobavljenih komponent, popravek statične arhitekture	J. Ivančič
1.3	15.2.2023	spremembe: obratovalni profil (tok pospeševanja), dodani testi	J. Ivančič
1.4	22.2.2023	Komentarji, pravopisne in vsebinske spremembe	M. Jankovec
1.5	24.2.2023	Prva izdana verzija; Dodano: točkovanje, shema.	J. Ivančič
1.6	27.2.2023	Popravek slike elektronike s statorjem EMC-24827	J. Ivančič

Kazalo

1 Uvod in namen delavnic	3
2 Splošne zahteve in informacije	3
3 Obratovalno okolje	4
3.1 Napetostno območje	4
3.2 Temperaturno območje	4
4 Obratovalni profil	5
5 Zahteve za načrtovanje	5
5.1 Arhitekturne in funkcionalne zahteve	5
5.1.1 Statična arhitektura	5
5.1.2 Konektor	6
5.1.3 Vhodno vezje	6
5.1.4 Mikrokrmilnik in črpalka naboja	7
5.1.5 Končna stopnja	7
5.1.6 Merilnik faznega toka	8
5.1.7 Meritev temperature	8
5.1.8 Komunikacija	8
5.2 Zahteve za tiskano vezje	8
6 Nastavitev končne stopnje	9
7 EMC zahteve	9
7.1 Prevodne emisije	9
7.2 Sevalne emisije	10
7.2.1 9 kHz - 30 MHz	10
7.2.2 30 MHz - 1000 MHz	12
8 Validacija in ocenjevanje	13
9 Literatura in povezave	17
10 Priloge	17
10.1 Osnovna shema	17

1 UVOD IN NAMEN DELAVNIC

EMC-24817 - EMC izziv obsega aktivnosti načrtovanja in validacije tiskanega vezja za 3-fazni brezkrtačni pogon primeren za uporabo v avtomobilski industriji.

EMC-24818 - Glavni cilj izziva je funkcionalen izdelek, ki je skladen z zahtevami za EMC.

EMC-24819 - Dodatni cilj izziva je skladnost z dodatnimi zahtevami podanimi v tem dokumentu.

EMC-24820 - Tekmovalci so obvezani k upoštevanju zahtev in arhitekturnih omejitev zajetih v tem dokumentu.

EMC-24821 - Tekmovalci se lahko prijavijo samostojno ali kot ekipa.

EMC-24822 - Vsak tekmovalec ali ekipa odda eno vezje.

EMC-24823 - Izdelava programske opreme ni del izziva in bo tekmovalcem dobavljena.

EMC-24824 - Med izzivom so predvidene naslednje aktivnosti:

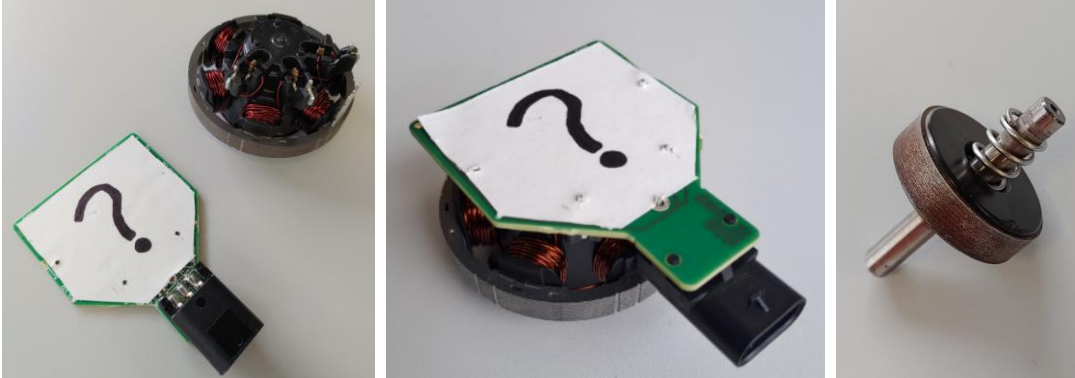
- načrtovanje električne sheme in izbira komponent,
- načrtovanje tiskanega vezja,
- nabava elektronskih komponent,
- izdelava vezja,
- nalaganje programske opreme,
- nastavitve parametrov PWM gonilnikov,
- funkcionalno testiranje,
- EMC testiranje.

2 SPLOŠNE ZAHTEVE IN INFORMACIJE

EMC-24826 - Splošne lastnosti pogona:

Napetostno območje	8,5 ÷ 16 V
Tip motorja	trifazni brezkrtačni, BLAC, delta vezava
Moč motorja	80 W zagonska moč 40 W stalna nazivna moč
Obrati	12000 / min
Tip vodenja	brezsenzorsko
Regulacija toka	enojni merilni upor
Komunikacija	LIN

EMC-24827 - Pogon je sestavljen iz vezja, konektorja, statorskega navitja in rotorja. Zunanji gabariti vezja in ključne povezovalne pozicije so določene s priloženim izhodiščnim načrtom tiskanega vezja.



EMC-24828 - Konektor (M in Ž), navitje in rotor tekmovalcem dobavi Kolektor Mobility d.o.o..

EMC-24829 - Vse uporabljene aktivne elektronske komponente, morajo biti kvalificirane za uporabo v avtomobilski industriji (AEC qualified). Uporaba neskladne komponente je dovoljena le pri komponentah, kjer obstaja nekvalificiran ekvivalent istega proizvajalca z enako osnovno oznako in lastnostmi.

Primer ustrezne ekvivalentne komponente:

ON Semiconductor SBAS20H - AEC-Q101 kvalificirana komponenta

ON Semiconductor BAS20H - ekvivalentna nekvalificirana komponenta z enako osnovno oznako istega proizvajalca

Pri pregledu cene in ustreznosti BOM se upošteva obstoj različice AEC kvalificirane komponente.

EMC-24830 - Vse uporabljene komponente morajo biti tipa SMD.

EMC-24831 - Vse komponente, razen zaščitnih elementov, morajo imeti maksimalno temperaturo obratovanja vsaj 125 °C in minimalno nazivno napetost 30 V.

EMC-24832 - Vse EMC karakteristike so merjene pri sobni temperaturi in nazivnem obratovanju.

3 OBRATOVALNO OKOLJE

3.1 Napetostno območje

EMC-24835 - Nazivno obratovanje pogona mora biti zagotovljeno v napetostnem območju:

$U_{min} = 9,5 \text{ V}$

$U_{max} = 15 \text{ V}$

EMC-24836 - Nazivna napetost:

$U_n = 13,7 \text{ V}$ (akumulatorsko napajanje)

3.2 Temperaturno območje

EMC-24838 - Temperaturno območje nazivnega obratovanja pogona v motornem prostoru vozila:

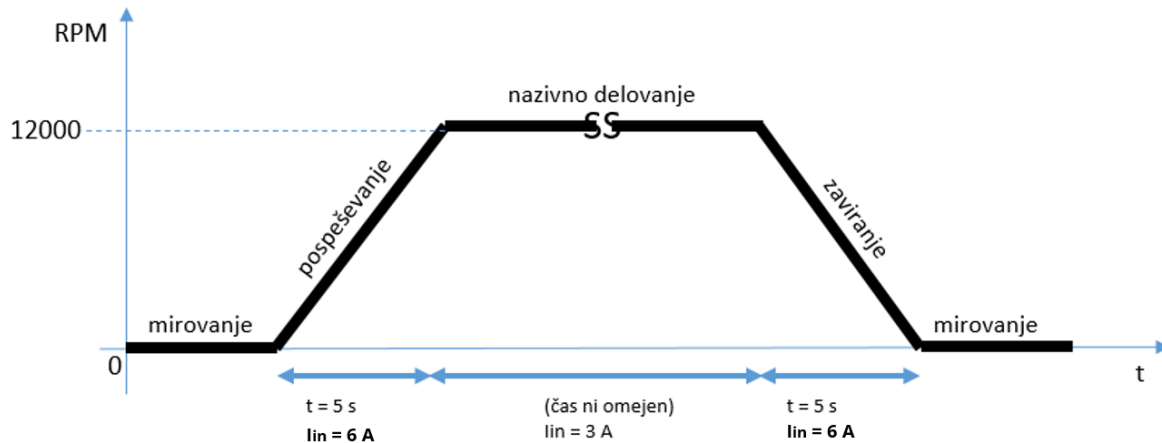
$T_{min} = -40 \text{ °C}$

$T_{max} = +125 \text{ °C}$

Pri preverjanju izbranih komponent se bo upoštevala maksimalna dovoljena obratovalna temperatura 125 °C. Vpliv lastnega gretja zanemarimo.

4 OBRATOVALNI PROFIL

EMC-24840 - Med obratovanjem pri nazivni napetosti pričakujemo različne tokovne porabe in trajanja obratovalnih načinov:



EMC-24841 - Pospeševanje: pospeševanje traja 5 s. Pri tem pričakujemo maksimalno 6 A vhodnega toka.

EMC-24842 - Nazivno delovanje: med nazivnim delovanjem, ki ni časovno omejeno pričakujemo maksimalni tok 3 A.

EMC-24843 - Zaviranje: zaviranje traja 5 s. Pri zaviranju pogon vrača v napajalnik maksimalno 6 A. Tok pri zaviranju je negativen.

Opomba: klasični laboratorijski napajalniki večinoma ne dovoljujejo obratovanja v režimu negativnega toka (generatorski režim bremena). V tem primeru bo napetost na pogonu med zaviranjem narasla in sprožila odklop vodenja končne stopnje pri 24 V. Zaviranje lahko omogočimo z vzporedno vezavo baterije ali $6 \div 10 \Omega$ upora.

5 ZAHTEVE ZA NAČRTOVANJE

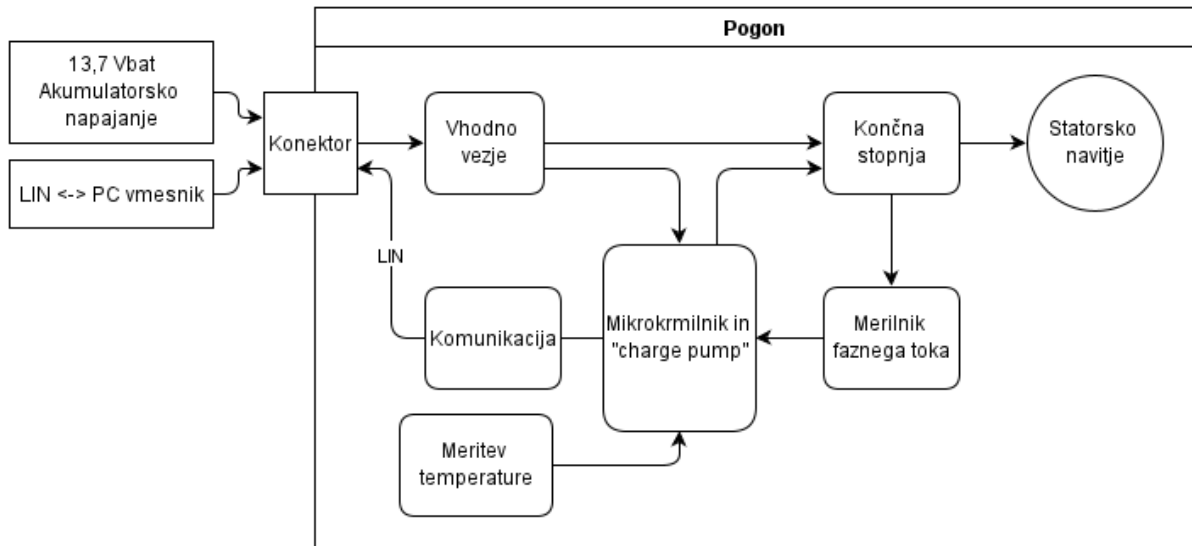
5.1 Arhitekturne in funkcionalne zahteve

5.1.1 Statična arhitektura

EMC-24847 - Arhitektura vezja je določena in vsebuje naslednje enote:

- konektor,
- vhodno vezje,
- vezje z mikrokrmilnikom in črpalko naboja,
- vezje z merilnikom faznega toka,
- končno stopnjo,
- komunikacijski vmesnik (LIN),
- vezje za meritev temperature.

EMC-24848 - Statična arhitektura vezja mora slediti naslednji shemi:

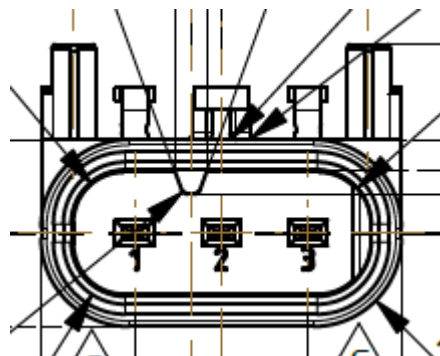
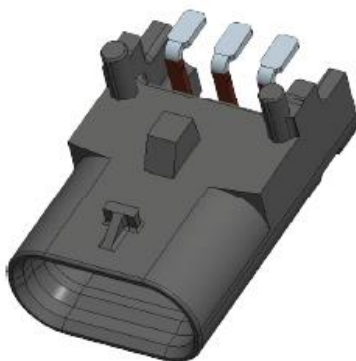


5.1.2 Konektor

EMC-24850 - Vezje mora vsebovati 3 pinski priključni konektor tipa **13-1638-845698**, ki ga tekmovalcem dobavi Kolektor Mobility d.o.o..

EMC-24851 - Konfiguracija pinov:

- Pin 1: Vbat
- Pin 2: LIN
- Pin 3 GND



5.1.3 Vhodno vezje

EMC-24853 - Vhodno vezje mora zagotavljati zaščito pogona pred napačno polariteto do -14 V. Pri trajni napetostni obremenitvi na pogonu ne sme priti do poškodb. Tok pri napetosti -14 V ne sme presegati 5 mA.

EMC-24854 - Skupna izgubna moč na komponentah vhodnega vezja ne sme presegati 0,7 W pri nazivnem obratovanju.

EMC-24855 - Padec napetosti na vhodnem vezju ne sme presegati 200 mV pri nazivnem obratovanju.

EMC-24856 - Vhodno vezje mora pogon zaščititi pred prenapetostjo 42 V za 100 ms.

EMC-24857 - Vhodno vezje mora zagotoviti ustrezno slabljenje prevodnih emisij za dosego EMC zahtev.

EMC-24858 - Pri načrtovanju morajo biti upoštevani vhodni tokovi navedeni v obratovalnem profilu.

5.1.4 Mikrokrmilnik in črpalka naboja

EMC-24860 - V vezju je uporabljen krmilnik Infineon **TLE9877QXW40**.

EMC-24861 - Vezje mora vsebovati osnovne komponente, ki so zahtevane za delovanje perifernih sklopov in vezja črpalke naboja po priporočeni shemi proizvajalca krmilnika.

EMC-24862 - Shema ključnih povezav PWM gonilnika, merilnika faznega toka in merilnika napetosti končne stopnje je navedena v prilogi tega dokumenta.

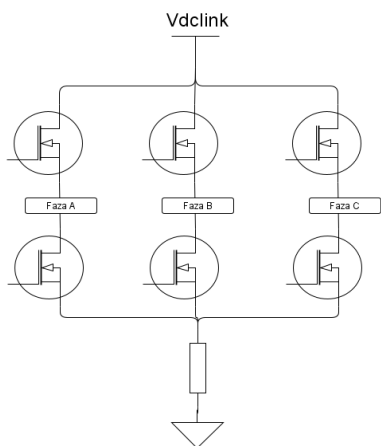
EMC-24863 - Mikrokrmilnik omogoča stalno napetost črpalke naboja $V_{cp} = 24$ V na pinu VCP.

EMC-24864 - Meritev napetosti končne stopnje je izvedeno na pinu VDH mikrokrmilnika.

5.1.5 Končna stopnja

Informacija: mikrokrmilnik zagotavlja ustrezne napetosti za krmiljenje MOSFET vrat prek interne črpalke naboja,

EMC-24867 - Končna stopnja mora biti načrtovana v konfiguraciji polnega mostiča s 6 n-kanalnimi MOS tranzistorji in skupnim tokovnim vozliščem za merjenje toka.



EMC-24868 - Mrtvi čas obratovanja tranzistorjev končne stopnje je 600 ns.

EMC-24869 - Frekvenca PWM signala je 13 kHz.

EMC-24870 - Napetostne meje končne stopnje (V_{dclink}), ki omogočajo stabilno izvajanje algoritma vodenja motorja so:

$V_{dclinkMin} = 6,5$ V

$V_{dclinkMax} = 18,5$ V

EMC-24871 - Poenostavljen model amplitud faznih tokov pri nazivnih pogojih:

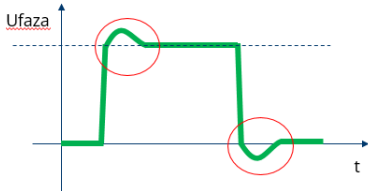
Amplituda zagonkega faznega toka $I_{zag} = 17$ A (trajanje 5 s)

Amplituda faznega toka med nominalnim obratovanjem $I_n = 8$ A

EMC-24872 - Pozicije faznih priključkov za statorsko navitje so določene na načrtu tiskanega vezja.

EMC-24873 - Med delovanjem se na MOSFETih ne pričakuje napetost višja od 40 V.

EMC-24874 - Prenihaj fazne napetosti ali druge oscilacije ne smejo presežati ± 3 V pri vseh obratovalnih načinih.



5.1.6 Merilnik faznega toka

EMC-24876 - Merjenje faznega toka mora biti izvedeno z uporabo 2 mOhm velikosti 2512.

EMC-24877 - Vrednosti RC filtra in povezave na mikrokrmilnik so določene na shemi v prilogi.

5.1.7 Meritev temperature

EMC-24879 - Načrtovanje merilnika temperature je izvzeto iz izziva.

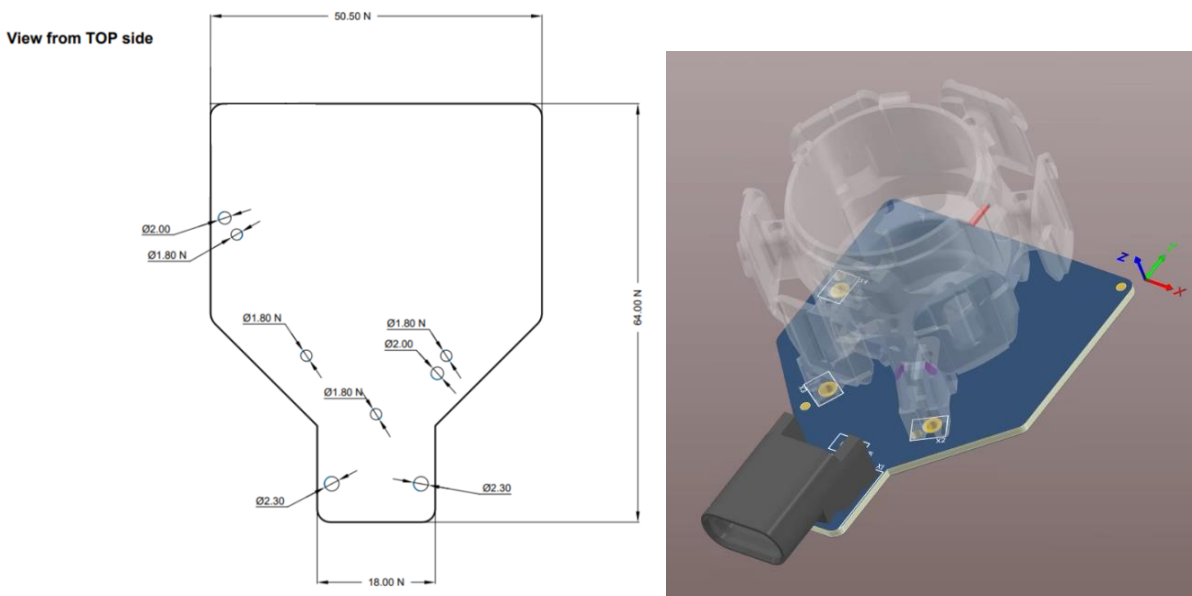
5.1.8 Komunikacija

EMC-24881 - LIN komunikacijski signal iz mikrokrmilnika je povezan na konektor (Pin 2). Dodatne komponente na liniji niso potrebne.

EMC-24882 - LIN komunikacija bo med izvajanjem EMC meritev izključena (ni vodnika med DUT in LISN).

5.2 Zahteve za tiskano vezje

EMC-24884 - Gabariti tiskanega vezja so prikazani na spodnji risbi:



EMC-24885 - Predloga vezja in omejitve postavljanja komponent so v obliki priloge načrta tiskanega vezja v Altiumu, ki je na voljo tukaj: [LPVO: Načrtovanje elektronike za EMC 2023 \(uni-lj.si\)](#).

EMC-24886 - Zgornja stran vezja (top side) mora vsebovati:

- mikrokontroler,
- konektor,
- statorsko navitje.

EMC-24887 - Omejitve višin komponent so pogojene z vgradno situacijo statorskega navitja (glede na 3D model v Altium predlogi).

EMC-24888 - Vse komponente razen konektorja morajo biti za 1,5 mm odmaknjene od roba tiskanega vezja.

EMC-24889 - Uporabljeno mora biti 4-slojno vezje kot je pripravljeno v priloženem načrtu tiskanega vezja v Altiumu.

6 NASTAVITEV KONČNE STOPNJE

EMC-24891 - PWM gonilnik na TLE9877QXW40 ima možnost nastavitve sekvence za odpiranje in zapiranje MOSFET-ov končne stopnje.

Smernice za nastavitve so na voljo tukaj: [TLE986x/TLE987x Bridge Driver Application Note \(infineon.com\)](#).

EMC-24892 - PWM gonilnik je izveden s tokovnim virom.

EMC-24893 - Nastavitve PWM proženja končne stopnje mora biti optimalna glede na proizvedene sevalne ali prevodne emisije in na izkoristek.

EMC-24894 - Navodila za nastavitve proženja in grafični vmesnik bodo posredovana naknadno.

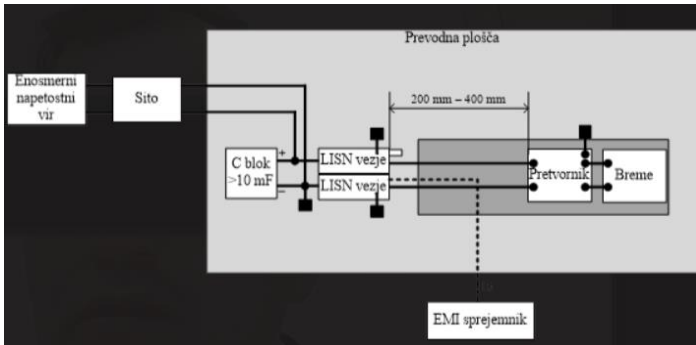
7 EMC ZAHTEVE

7.1 Prevodne emisije

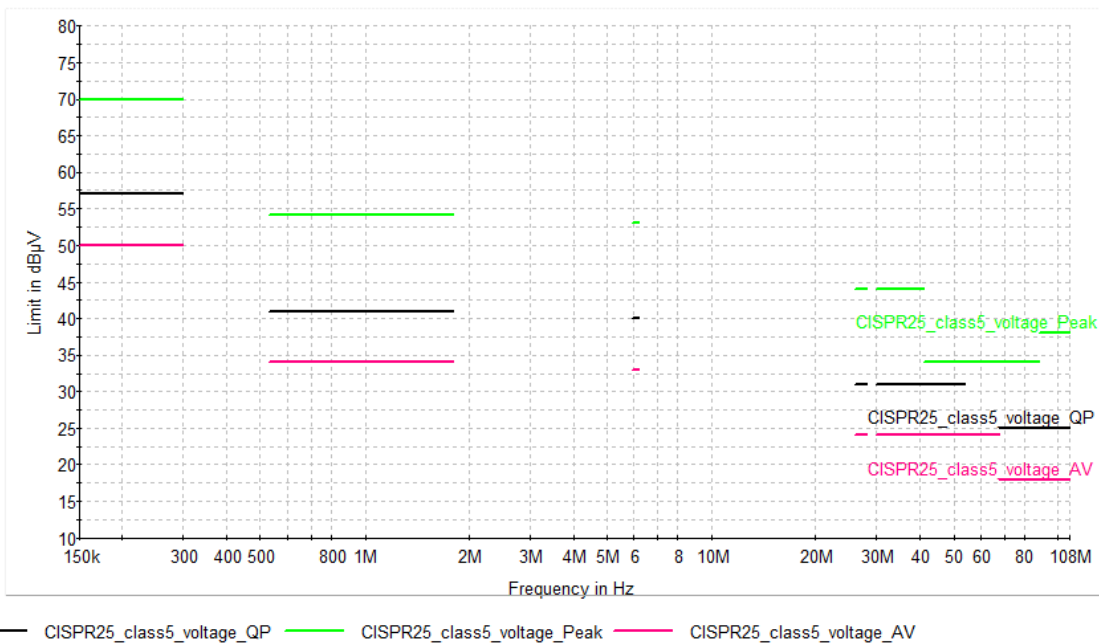
EMC-24897 - Skladnost pogona pri nominalnem obratovanju za prevodne emisije se bo preverjala po standardu EN55025:2017.

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
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

EMC-24898 - Slika postavitve za merjenje prevodnih emisij:



EMC-24899 - Graf mejnih vrednosti za razred (class) zahtevnosti 5 za prevodne emisije:



7.2 Sevalne emisije

7.2.1 9 kHz - 30 MHz

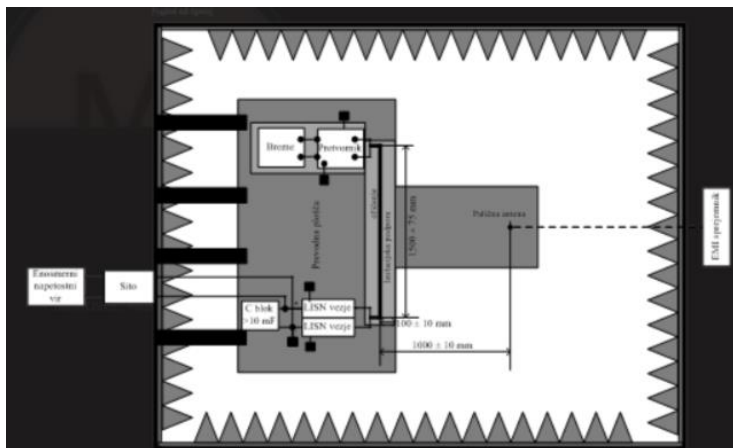
EMC-24902 - Pogon pri nominalnem obratovanju ne sme presežati mej za sevalne emisije po:

- EN55025:2017 v območju od 150 kHz do 30 MHz
- VW81000:2018 v območju od 9 kHz do 150 kHz.

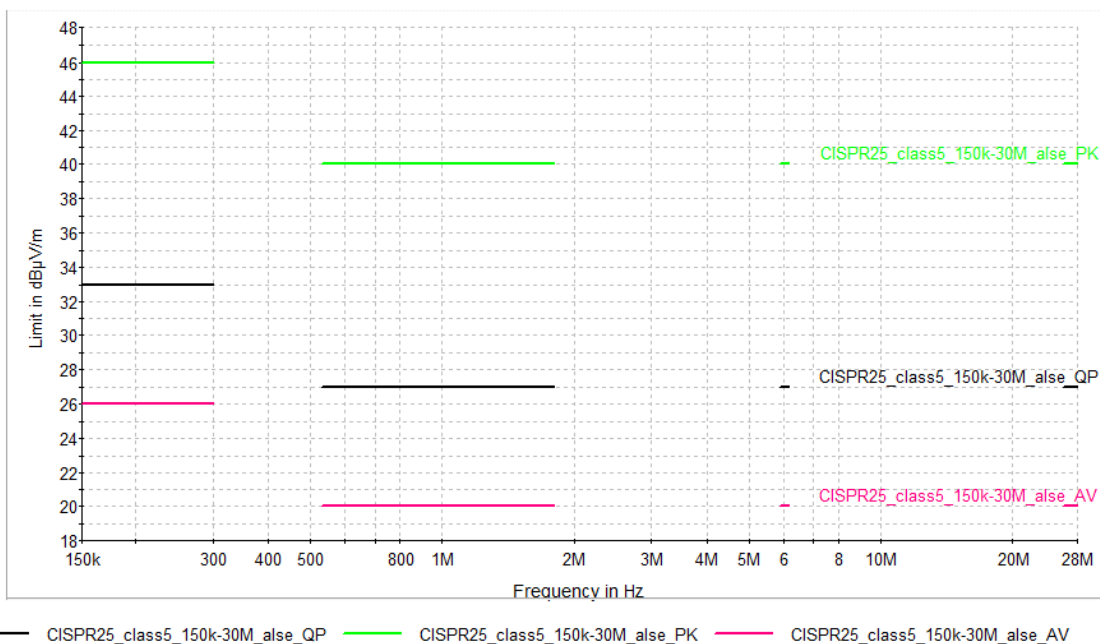
Frekvenčno področje [MHz]	Nivo [dBµV/m]														
	Class 5			Class 4			Class 3			Class 2			Class 1		
	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV	PK	QP	AV
0,09 - 0,15	dodatne meritve po VW81000:2018														
0,15 - 0,3	46	33	26	56	43	36	66	53	46	76	63	56	86	73	66
0,53 - 1,8	40	27	20	48	35	28	56	43	36	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

Service or band	Frequency in MHz	PK			BW f in kHz
		Limit E in dB(μV/m)			
		Class			
		3	4	5	
Base limits					
	0.009 ... 0.15	$86 - 20 \times \log(f/0.009)^{2)}$			0.2
Service or band	Frequency in MHz	PK			BW f in kHz
		Limit E in dB(μV/m)			
		Class			
		3	4	5	
125 kHz	0.1 ... 0.15	61	51	41	9/10

EMC-24903 - Slika postavitve za merjenje sevalnih emisij v območju od 9 kHz do 30 MHz:



EMC-24904 - Slika mejnih vrednosti za razred (class) zahtevnosti 5 za sevalne emisije v območju od 9 kHz do 30 MHz:

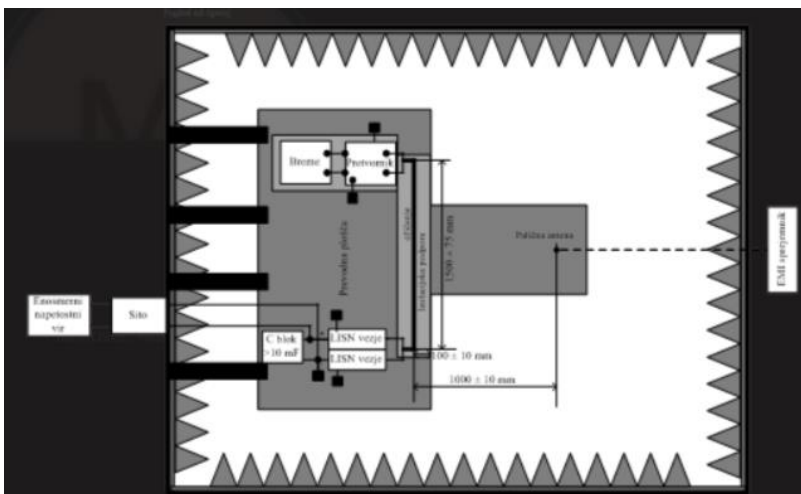


7.2.2 30 MHz - 1000 MHz

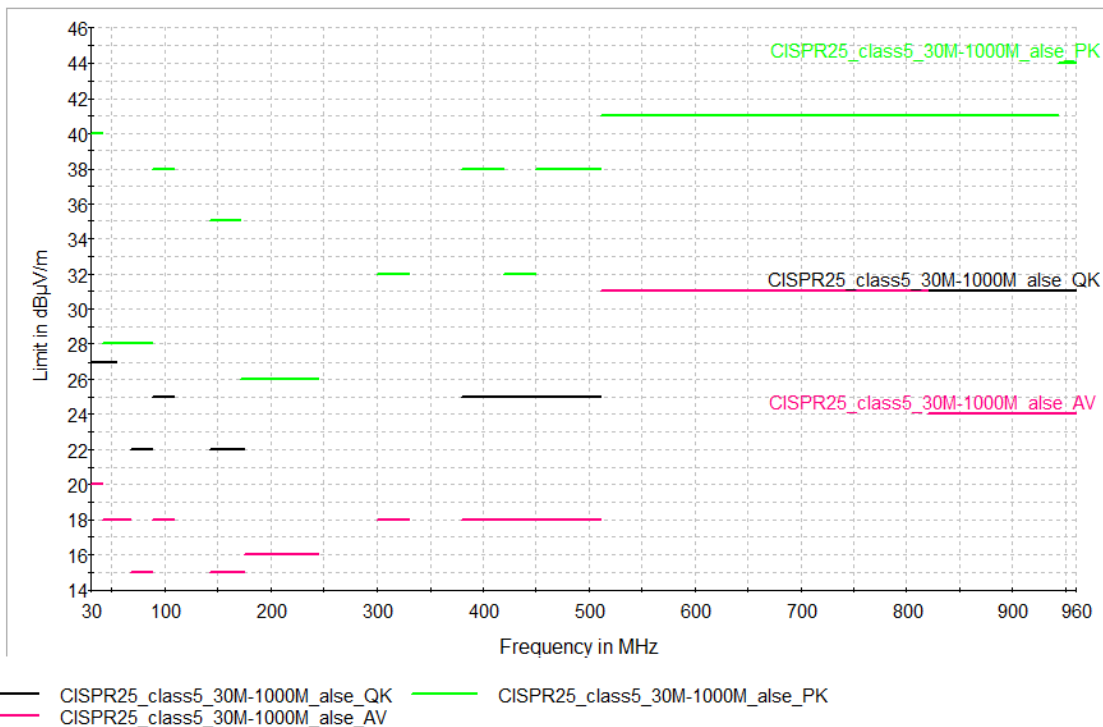
EMC-24906 - Pogon pri nominalnem obratovanju ne sme presegati mej za sevalne emisije po EN55025:2017 v območju od 30 MHz do 1000 MHz.

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
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

EMC-24907 - Slika postavitve za merjenje sevalnih emisij v območju od 30 MHz do 1000 MHz:



EMC-24908 - Slika mejnih vrednosti za razred (class) zahtevnosti 5 za sevalne emisije v območju od 30 MHz do 1000 MHz:



8 VALIDACIJA IN OCENJEVANJE

EMC-24910 - Pogon bo validiran v sodelovanju s Kolektor Mobility d.o.o.. Električni in funkcionalni testi se bodo izvajali na sedežu podjetja.

EMC-24911 - Seznam dokumentov za izvedbo ocenjevanja mora vsebovati:

- spisek vgrajenih komponent (BOM),
- Altium projekt (shema in tiskano vezje),
- podatke o nastavitvah vzburjanja končne stopnje,
- poročilo o funkcionalnih preizkusih in pregledih (odg. Kolektor),
- poročilo o meritvah EMC za prevodne in sevalne emisije (odg. SiQ).

EMC-24912 - Validacija obsega kombinacijo formalnih pregledov predložene dokumentacije (v nadaljevanju "Pregled") in fizičnih preizkusov (v nadaljevanju "Test"). Vsak pregled ali test je ovrednoten s pripisanimi točkami.

EMC-24913 - Pregled 1 - Pregled BOM

Pregled BOM obsega kriterije:

- skladnost z zahtevami o kvalifikaciji komponent,
- skladnost z zahtevanim temperaturnim območjem,
- skladnost z ostalimi zahtevami podanimi v tem dokumentu.

Število točk: 3 točke za vsak izpolnjen kriterij. Skupaj: 9.

EMC-24914 - Pregled 2 - Cena aktivnih in filterskih komponent

Med tekmovalci se primerja seštevek cen vseh aktivnih elementov, filtrskih kondenzatorjev, kondenzatorjev končne stopnje ter tuljav v vezju.

Nižja cena pomeni boljši izid oziroma manjši točkovni odbitek.

Cena se izbere na podlagi cene v spletni storitvi Octopart za količino 1000 kos.

Število točk odbitka: cena komponent pomnožena s faktorjem 5.

EMC-24915 - Test 1 - Osnovna funkcionalnost

Opis metode: preizkus pogona na namenski testni napravi.

Testni pogoji:

$U_{in} = 9 \div 15 \text{ V}$ s korakom 1 V

$T = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Pričakovan rezultat:

- pogon uspešno pospeši do 12000 rpm,
- pogon vzdržuje 12000 rpm 10 minut,
- pogon uspešno zavira do 0 rpm.

Število točk: 2 točki za delovanje v vsakem od napetostnih korakov. Skupaj: 12.

EMC-24916 - Test 2 - Izkoristek motorja

Opis metode: preizkus pogona na namenski testni napravi za preverjanje izkoristka.

Testni pogoji:

$U_{in} = 13,7 \text{ V}$

$T = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$n = 12000 \text{ rpm}$

Pričakovan rezultat:

izkoristek večji od 80%.

Število točk: razlika med pomerjenim izkoristkom in 80% pomnoženo s faktorjem 2.

$$T = 2(\text{izkoristek} - 80\%)$$

EMC-24917 - Test 3 - Odpornost na napačno polariteto

*test je lahko destruktiven zato se na željo tekmovalca izvede po EMC testiranju.

Opis metode: priključitev pogona na negativno napetost.

Testni pogoji:

$U_{in} = -14 \text{ V}$

Trajanje $t = 60 \text{ s}$

$T = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Kriterij:

- pogon ne utрпи poškodb,
- vhodni tok pri testni napetosti ne preseže 5 mA,
- pogon po vzpostavitvi nazivne napetosti deluje.

Število točk: 5.

EMC-24918 - Test 4 - Odpornost na prenapetost

*test je lahko destruktiven zato se na željo tekmovalca izvede po EMC testiranju.

Opis metode: preizkus pogona na namenski testni napravi za preverjanje odpornosti na prenapetost.

Testni pogoji:

$U_{in} = 13,7 \text{ V}$

$n = 12000 \text{ rpm}$

Prenapetost $U_{inp} = 42 \text{ V}$

Upornost vira prenapetosti $R_{in} = 2 \text{ Ohm}$

Trajanje U_{inp} (pravokotni pulz) $t = 100 \text{ ms}$

Število pulzov: 10

Razmik med pulzi $t_r = 30 \text{ s}$

$T = 23 \text{ °C}$

Kriterij:

- pogon ne utрпи poškodb,
- pogon po končanem testu deluje.

Število točk: 5

EMC-24919 - Test 5 - Moč in padec napetosti na vhodnem vezju

Opis metode: preizkus pogona na namenski testni napravi. Meritev padcev napetosti na vhodnem vezju in preverjanje izgubne moči.

Testni pogoji:

$U_{in} = 13,7 \text{ V}$

$T = 23 \text{ °C}$

$n = 12000 \text{ rpm}$

Kriterij:

- padec napetosti na vhodnem delu vezja med konektorjem in končno stopnjo mora biti med nazivnim obratovanjem manjši od 200 mV,
- skupna moč izgub na vhodnem vezju ne presega 0,7 W.

Število točk: 5.

EMC-24920 - Test 6 - Meritev prenihaja faznih napetosti

Opis metode: preizkus pogona na namenski testni napravi. Meritev faznih napetosti z osciloskopom.

Testni pogoji:

$U_{in} = 13,7 \text{ V}$

$T = 23 \text{ °C}$

OP1 = pospeševanje

OP2 = 12000 rpm

Pričakovan rezultat:

Prenihaj (ali oscilacija) faznih napetosti ne sme presežati $\pm 3 \text{ V}$.

Število točk: 5

EMC-24921 - Test 7 - Prevodne napetostne emisij

Opis metode: meritve prevodnih napetostnih emisij po EN55025:2017.

Testni pogoji:

$U_{in} = 13,7 \text{ V}$

$T = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$n = 12000 \text{ rpm}$

Število točk glede na dosego razreda:

- Class 1 : 0

- Class 2 : 5

- Class 3 : 10

- Class 4 : 20

- Class 5 : 35

Dodatne točke:

Izmed vseh frekvenc se izbere tisto pri kateri je izmerek najbližje naslednjemu nižjemu razredu. Pri tej frekvenci se preveri delež doseganja naslednjega višjega razreda in se ta delež množi z razliko točk med razredi.

$$T_{\text{dodatne}} = \frac{E_{\text{doseženega razreda}} - E_{\text{izmerjen}}}{E_{\text{doseženega razreda}} - E_{\text{višjega razreda}}} (T_{\text{višjega razreda}} - T_{\text{doseženega razreda}})$$

Primer: Tekmovalec dosega razred 3 na celotnem območju preverjanja. Pri frekvenci 80 MHz je najbližje razredu 2 z izmerkom AV 29 dBuV s čimer je za 1 dBuV pod mejo. Višji razred 4 je na tem območju 6 dBuV nižje pri 24 dBuV. Razlika točk med razredoma 3 in 4 je 10 točk.

$$T_{\text{dodatne}} = \frac{30 \text{ dBuV} - 29 \text{ dBuV}}{30 \text{ dBuV} - 24 \text{ dBuV}} (20 - 10) = 1,67 \text{ točke}$$

EMC-24922 - Test 8 - Sevalne emisije EN55025

Opis metode: meritve sevalnih emisij po EN55025:2017.

Testni pogoji:

$U_{in} = 13,7 \text{ V}$

$T = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$n = 12000 \text{ rpm}$

Število točk glede na doseganje razreda:

- Class 1 : 0

- Class 2 : 5

- Class 3 : 10

- Class 4 : 20

- Class 5 : 35

Dodatne točke se izračunajo enako kot pri prevodnih emisijah.

EMC-24923 - Test 9 - Sevalne emisije VW TL81000

Opis metode: meritve sevalnih emisij po VW TL81000:2018.

Testni pogoji:

$U_{in} = 13,7 \text{ V}$

$T = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$n = 12000 \text{ rpm}$

Število točk glede na doseganje razreda:

- Class 3 : 3
- Class 4 : 6
- Class 5 : 9

Dodatne točke niso na voljo.

9 LITERATURA IN POVEZAVE

EMC-24925 -

- Uradna stran tekmovanja: [LPVO: Načrtovanje elektronike za EMC 2023 \(uni-lj.si\)](#)
- Infineon TLE9877QXA40 domača stran: [TLE9877QXA40 - Infineon Technologies](#)
- Datasheet: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-TLE9877QXA40-DataSheet-v02_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c81ae03fc0181d83f11323c12
- Bridge driver application note: [TLE986x/TLE987x Bridge Driver Application Note \(infineon.com\)](#)
- Hardware design guideline: [TLE987x/6x Hardware design guideline \(infineon.com\)](#)

10 PRILOGE

10.1 Osnovna shema

EMC-24928

