



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

TESTER PRO ŘÍDICÍ JEDNOTKU

AUTOMATED CONTROL UNIT TESTER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Matúš Halgoš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Beneš

BRNO 2024



Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Matuš Halgoš

ID: 211420

Ročník: 2

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Tester pro řídicí jednotku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout testovací zařízení pro ověření funkčnosti DPS řídicí jednotky TJ40.

1. Seznamte se s možnostmi řízení BLDC motorů.
2. Seznamte se s aktuálním testovacím procesem a definujte požadavky pro automatizovaný tester.
3. Napište test case a následně testovací procedury pro automatizované testování.
4. Navrhněte schéma a DPS pro tester.
5. Oživte HW testeru a vytvořte HW vybavení.
6. Diskutujte dosažené výsledky a využití.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Hu, R., PCB Design and Layout Fundamentals for EMC. ISBN 978-1082079252

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 15.5.2024

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Beneš

doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tento článok predstavuje výskum a vývoj automatizovaného testovacieho zariadenia prispôbeného pre elektronickú riadiacu jednotku (ECU) E040, ktorá riadi prúdový motor TJ40, s cieľom zvýšiť účinnosť a spoľahlivosť vo fáze testovania ECU. Navrhované zariadenie ponúka významné výhody oproti tradičným manuálnym metódam testovania vrátane skrátenia času testovania a zvýšenia presnosti. Prvá časť práce je venovaná teórii testovania, následne je opísaná teoretická analýza, v ktorej sú uvedené základné informácie o riadiacej jednotke a potreby testovania. Výstupom tejto časti sú dokumenty, testovacie prípady a testovacie procedúry. V druhej časti práce bol na základe testovacích procedúr vytvorený schematický návrh testovacieho zariadenia a podrobne popísané funkcie jednotlivých blokov, po ktorých nasledoval popis tvorby layoutu plošného spoja. V poslednej kapitole sa čitateľ oboznámi s procesom oživenia navrhnutého testovacieho zariadenia a návrhom vnútornej kabeláže.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

automatizované testovacie zariadenie, tester, ECU, prúdový motor, riadiaca jednotka

ABSTRACT

This article presents the research and development behind the automated testing device tailored for electronic control unit (ECU) E040, which controls turbojet engine TJ40 to enhance efficiency and reliability in the testing phase of ECU. The proposed device offers significant advantages over traditional manual testing methods, including reduced testing time and improved accuracy. This paper will give the reader necessary information about TJ40 engine and E040 ECU, then will provide the overall concept design behind automated testing device. The subject of this work is a comprehensive view of the design of a single-purpose test device for a turbojet engine control unit. The first part of the thesis is dedicated to the theory of testing, then the theoretical analysis is described in which the basic information about the control unit and the needs of testing are presented. The output of this section are documents, test cases and test procedures. In the second part of the thesis, schematic design of the test equipment was created from the test procedures and the functions of the individual blocks were described in detail, followed by a description of the creation of the PCB layout. The last chapter takes the reader through the process of bringing up the designed test equipment and the design of the internal wiring.

KEYWORDS

Automated testing device, ECU, turbojet engine, engine control unit

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora: Bc. Matúš Halgoš
VUT ID autora: 211420
Typ práce: Diplomová práca
Akademický rok: 2023/24
Téma záverečnej práce: Tester pro řídicí jednotku

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som rád poďakoval vedúcemu práce pánovi Ing. Tomášovi Benešovi za odborné vedenie, konzultácie a podnetné návrhy k práci. Ďalej by som chcel poďakovať spoločnosti Unis a.s. za poskytnutie potrebnej dokumentácie a priestorov.

Obsah

Úvod	13
1 Teoretický rozbor	14
1.1 Motor TJ40	14
1.2 Riadiaca jednotka E040	15
1.2.1 Modul BER	15
1.2.2 Modul BEM	15
1.3 BLDC motor	16
1.3.1 Konštrukcia BLDC motora	17
1.3.2 Menič pre BLDC motor	19
1.3.3 Dead time	19
1.3.4 N - MOSFET	20
1.3.5 Budič tranzistorov	21
1.3.6 Princíp spínania	21
1.3.7 Spätná väzba polohy rotora	22
1.3.8 Bez-senzorové riadenie	22
1.3.9 Trapézoidálna komutácia	23
1.3.10 Sínusoidálna komutácia (PWM)	24
1.4 Výroba a testovanie DPS	24
1.4.1 Výroba dosky plošných spojov	25
1.4.2 Ohybná DPS	27
1.4.3 Osadenie DPS	27
1.5 Typy defektov a spôsoby odhalenia	28
1.5.1 Defekty pri výrobe DPS	29
1.5.2 Defekty pri osadení DPS	29
1.5.3 Defekty pri manipulácii a preprave	31
1.5.4 Metódy na odhalenie defektov	31
1.6 Proces testovania, testovacie prípady a procedúry	32
1.6.1 Aktuálny proces testovania	32
1.6.2 Testovací prípravok	33
1.6.3 Priebeh testovania	34
1.7 Požiadavky na testovacie zariadenie	35
2 Rozbor modulu BEM riadiacej jednotky E040	36
2.0.1 Modulu BEM	36
2.1 Návrh testovacích prípadov DPS BEMC a BEMP	36
2.1.1 Návrh testovacích prípadov modulu BEM	38

2.1.2	Testovacie prípady	40
2.1.3	Testovacie procedúry	41
3	Koncepčný návrh	43
3.1	Zariadenie TJP1	43
3.1.1	Výber komponentov	44
3.2	Popis návrhu schémy prepájacej DPS BINT	44
3.2.1	Návrh layout DPS BINT	46
4	Popis návrhu schémy BTES	48
4.1	MCC USB-231: Multifunction USB DAQ Devices	48
4.2	MCC USB-1024LS: 24 Channel Digital I/O USB Devices	49
4.2.1	Architektúra DPS BTES	50
4.2.2	Blok Interface: Rozhranie pre pripojenie zariadení.	50
4.2.3	Blok Power: Zdroje potrebné pre funkciu zariadenia.	51
4.2.4	Blok Open-short detection	58
4.2.5	Blok Open-short detection MOSFET	60
4.2.6	Blok Open-short processing: Spracovanie výsledkov skratov a rozpojení	62
4.2.7	Spínanie relé	64
4.2.8	Blok CAN test, Motor	64
4.2.9	Návrh merania priechodnosti CAN	64
4.2.10	Návrh schémy Block	69
4.3	Pripojenie meracích kariet	74
4.3.1	Digitálna karta MCC USB-1024LS	74
4.3.2	D/A karta MCC USB-231	74
4.4	Návrh DPS BTES	75
4.4.1	Doska plošných spojov BTES	75
5	Pripojenie meracích kariet	83
6	Oživenie DPS BINT	88
6.1	DPS BINT	88
7	Oživenie DPS BTES	91
8	Poznatky z oživenia	98
9	Návrh vnútornej kabeláže	101
	Záver	104

Literatúra	105
Zoznam symbolov a skratiek	113
Zoznam príloh	115
A Testovacie prípady BEMC	116
B Testovacie prípady BEMP	118
C Testovacie prípady BEM	121
D Testovacie procedúry	127
E Schéma DPS BINT	163
F Výrobné dáta DPS BINT	165
G Schéma DPS BTES	166
H Výrobné dáta DPS BTES	175
I Špecifikácia vnútornej kabeláže TJP1	176
J Špecifikácia konektorov TJP1	202
K Oživovací postup DPS BTES	223
L Zápis z oživenia	240

Zoznam obrázkov

1.1	Prúdový motor TJ40	14
1.2	Realistické zobrazenie DPS BEMP	15
1.3	Realistické zobrazenie DPS BEMC	16
1.4	BLDC motor	17
1.5	Konštrukcia BLDC motoru	18
1.6	Zapojenie hviezda - trojúholník	18
1.7	Bloková schéma meniča BLDC motoru	19
1.8	Dead time	20
1.9	MOSFET typu N	20
1.10	Zjednodušená schéma meniča s budičmi pre riadenie BLDC motoru	21
1.11	Spätná väzba polohy rotoru BLDC motoru	22
1.12	Rozdiely back EMF medzi trapezoidálnou a sínusovou komutáciou	23
1.13	Prúdové priebehy jednotlivými fázami trapezoidálnou komutáciou	24
1.14	Prúdové priebehy jednotlivými fázami sínusoidálnou komutáciou	24
1.15	Jednotlivé vrstvy 2 - vrstvej DPS	25
1.16	Prekovy	26
1.17	Gerber	26
1.18	Ohybná DPS	27
1.19	Osadzovacie zariadenie	28
1.20	Rolka SMD komponentov	28
1.21	Solder bridge	29
1.22	Tombstoning	30
1.23	Ukážka zaplávania súčiastky	30
1.24	Ukážka cínovej guličky	31
1.25	Zariadenie na testovanie v obvode	32
1.26	Testovacie zariadenie TPR_E040_NI	33
3.1	3D model mechanickej testovacej fixtúry TJP1	43
3.2	3D model vymeniteľnej kazety TJP1	44
3.3	Relé Omron G6K-2F-Y-DC12	45
3.4	Schématické zapojenie flyback diódy	46
3.5	3D model DPS BTINT	47
4.1	Karta MCC USB-231	48
4.2	Karta MCC USB-1024LS	49
4.3	Hierarchické zobrazenie schémy BTES	50
4.4	Schématické zapojenie napájania jednotky	51
4.5	Schématické zapojenie zdroju 5 V	52
4.6	Schématické zapojenie zdroju 5V-PWR	54

4.7	Schématické zapojenie napätovej referencie	54
4.8	Schématické zapojenie zdroju pre simuláciu termočlánkov	55
4.9	Schématické zapojenie prúdových zdrojov	56
4.10	Schématické zapojenie zdrojov pre napájanie jednotky	57
4.11	Schématické zapojenie obvodu na detekciu skratu a rozpojenia napäťových ciest	58
4.12	Ukážka zapojenia napätových deličov	59
4.13	Ukážka bloku schémy Open-short detection	60
4.14	Schématické zapojenie obvodu na detekciu skratu a funkcie MOSFET	61
4.15	Ukážka bloku schémy Open-short detection MOSFET	62
4.16	Schématické zapojenie testovania snímača PT100	63
4.17	Schématické zapojenie overenia priechodnosti CAN	65
4.18	Schématické zapojenie pripojenia štartér-generátoru	66
4.19	Schématické zapojenie pripojenia napájania	67
4.20	Schématické zapojenie pripojenia napájania	68
4.21	Graf nabíjania kapacít medziobvodu v závislosti na čase	68
4.22	Ukážka schématického zapojenia spínania USEL1 a USEL2	69
4.23	Ukážka schématického zapojenia pripojenia ventilov	70
4.24	Schématické zapojenie pripojenia generátoru a napätia na fázy	71
4.25	Schématická návrh testovania teplotného snímača	73
4.26	Znázornenie potreby spínania signálov	74
4.27	Schématická značka karty MCC USB-1024LS	75
4.28	Schématická značka karty MCC USB-231	76
4.29	Návrh layout DPS BTES	76
4.30	Rozmiestnenie konektorov na DPS BTES	77
4.31	Rozloženie BTES na oblasti podľa názvov schém	78
4.32	Ukážka polygónov pripájajúcich štartér-generátor	79
4.33	Ukážka polygónov pripájajúcich napájanie jednotky	80
4.34	Ukážka návrhu izolovanej časti obvodu	81
4.35	Vyrobená a osadená DPS BTES	82
4.36	Vyrobená a osadená DPS BTINT	82
5.1	Nákres pripojenia karty MCC USB-231	83
5.2	Pripojenie karty MCC USB-231	84
5.3	Nákres pripojenia karty MCC USB-1024LS	84
5.4	Pripojenie karty MCC USB-1024LS	85
7.1	Nelinearita prúdového snípača	94
7.2	Kvantifikovaná nelinearita prúdového snímača	95
7.3	Chyba prúdového snímača po kalibrácii	96
7.4	Kvantifikovaná nelinearita prúdového snímača po kalibrácii	96

7.5	Oteplenie cesty spínania motoru	97
7.6	Oteplenie cesty spínania pripojenia napájania	97
8.1	Implementovaná úprava vstupu analógovej karty	98
8.2	Bloková schéma úpravy skratov a rozpojenia	99
8.3	Implementovaná úprava skratov a rozpojenia	100
9.1	Ukážka testovacích ihiel	101
9.2	Zobrazenie častí testovacej fixtúry	103
9.3	Ukážka grafickej špecifikácie káblového zväzku	103

Zoznam tabuliek

2.1	Príklad testovacích prípadov	40
2.2	Príklad testovacej procedúry	42
4.1	Tabuľka najväčších prúdových odberov komponentov zariadenia BTES	57
4.2	Tabuľka rezistorov pripojených k jednotlivým blokom	61
4.3	Adresovanie vstupov multiplexorou 74HC151	63
4.4	Tabuľka napätových pomerov analógových vstupov	72
5.1	Tabuľka zapojenia karty MCC USB-231	86
5.2	Tabuľka zapojenia karty MCC USB-1024LS	87
6.1	Tabuľka overenia rozpojenia signálov	89
6.2	Tabuľka overenia spojenia signálov	90
7.1	Tabuľka overenia skratov napätových úrovní	91
7.2	Tabuľka overenia napätových úrovní	92
7.3	Kalibrácia prúdového snímača	95
9.1	Tabuľka prepojenia káblových zväzkov	102
9.2	Ukážka číslovania pinov káblového zväzku	103

Úvod

Pri výrobe zariadenia môže v jednom alebo vo viacerých procesoch výroby nastať defekt, ktorý môže ovplyvniť výslednú funkciu zariadenia. Zariadenie, ktoré takýto defekt obsahuje je nutné odhaliť a identifikovať príčinu, ktorá defekt spôsobila. Systematický proces, vďaka ktorému je možné tieto defekty odhaliť, sa nazýva testovanie a pozostáva zo sady úkonov, ktoré sú navrhnuté tak, aby čo najpresnejšie zodpovedali reálnej funkcii zariadenia. Testovanie je jedným z kľúčových aspektov výroby, najmä pokiaľ sa jedná o sériovú výrobu, v ktorej je nutné dodržiavať vysokú úroveň štandardu. Pri sériovej výrobe je dôležité, aby testovanie produktu zaberalo čo najmenej času, a zároveň boli všetky funkčné prvky spoľahlivo otestované. Jednou z možností, ako takéto testovanie vykonávať, je testovanie pomocou automatizovaného testovacieho zariadenia, ktoré vykonáva testy samostatne, s minimálnym zásahom operátora. Výhodami takéhoto testovania oproti manuálnemu testovaniu sú najmä rýchlosť a spoľahlivosť.

1 Teoretický rozbor

V tejto kapitole bude čitateľovi priblížený prúdový motor TJ40 a riadiaca jednotka E040. To, z akých modulov sa skladá a čo vykonávajú. Následne bude čitateľ oboznámený s BLDC motorom, jeho výhodami oproti motorom s uhlíkovými komutátormi, konštrukciou BLDC motora a jeho riadením.

1.1 Motor TJ40

Motor TJ40 je malý prúdový motor vyvíjaný firmou *PBS Velká Bíteš, a. s.*. Motor svojimi parametrami, hmotnosťou 3,8 kg a rozmermi 147 x 304 mm spadá do kategórie malých prúdových motorov, čím je ideálnym riešením pre rôzne aplikácie. Napríklad pre nepilotované vzdušné drony (UAV), cvičné ciele určené pre výcvik pilotov a iné bezpilotné systémy. S veľkou obľubou je využívaný aj v modelárskom odvetví. V závislosti od verzie dokáže vygenerovať ťah o veľkosti 395 N alebo 425 N, vďaka ktorému dokáže vyvinúť rýchlosť až 0,8 M. Motor je vybavený BLDC štartér-generátorom, ktorý zaručuje štart motora z ľubovoľnej pozície už do 25 sekúnd. Motor je odolný voči účinkom slanej vody a vďaka svojej univerzálnosti a výkonnosti si motor TJ40 získal dôveru v rôznych odvetviach. [1]



Obr. 1.1: Prúdový motor TJ40 [1]

1.2 Riadiaca jednotka E040

Riadiaca jednotka E040 je jednoúčelové komplexné elektrické zariadenie pre riadenie chodu prúdového motora TJ40. Je vyvinuté leteckou divíziou spoločnosti *Unis a.s.* E040 zabezpečuje ovládanie toku paliva, štart motora, monitorovanie senzorov motora a pomocou generátora zabezpečuje tiež dodávku stabilizovaného elektrickú napájacieho napätia pre palubnú sieť. V závislosti od konfigurácie a použitej batérie menič dokáže dodávať 12, 14, 25 alebo 28 V. Zariadenie sa skladá z dvoch modulov, ktoré sa nazývajú BER a BEM. [2]

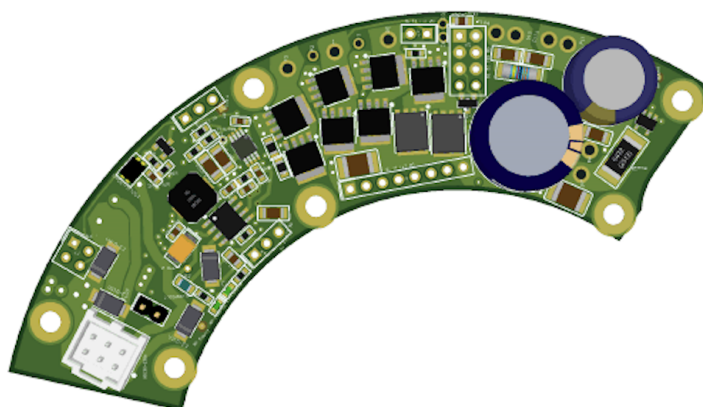
1.2.1 Modul BER

BER je nadradený BEM, zabezpečuje činnosť palivového čerpadla, žhavenie a nachádza sa oddelene od modulu BEM, ku ktorému sa pripája pomocou konektora a komunikuje po zbernici CAN. Jednotka na základe vstupov od operátora a aktuálneho stavu motora získaného zo senzorov reguluje prísun paliva do motora. [2]

1.2.2 Modul BEM

BEM sa skladá z dvoch DPS polkruhového tvaru, ktoré sú usporiadané nad sebou a nerozoberateľne pripojené pomocou kolíkových líšt, ktoré sú následne prispájkované. Takto spojené dosky sú následne uložené do mechaniky, ktorá je pripojená pomocou skrutiek priamo na prúdový motor TJ40. Jednotlivé DPS modulu BEM sa nazývajú BEMP a BEMC a každá z nich má odlišnú funkciu. [2]

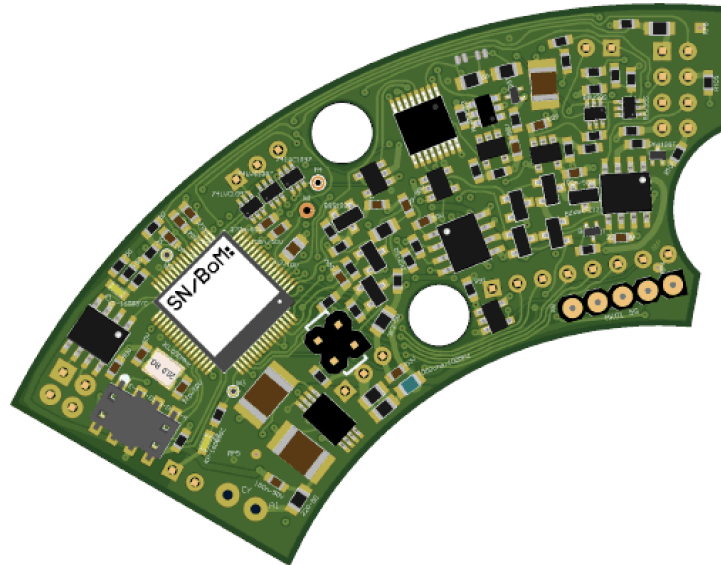
DPS BEMP



Obr. 1.2: Realistické zobrazenie DPS BEMP [3]

BEMP je výkonová doska, na ktorej sú umiestnené zdroje napájacieho napätia 3,3 V a 10 V, konfigurovateľný menič ktorý dodáva napätie do palubnej siete, modul na meranie prúdu tečúceho cez menič, výkonové tranzistory pre spínanie troch palivových ventilov, ochrana komunikácie CAN a 3-fázový mostík pre štartovanie BLDC štartér-generátora. [2]

DPS BEMC



Obr. 1.3: Realistické zobrazenie DPS BEMC [4]

BEMC je ovládacia doska, ktorej základom je 32-bitový mikrokontrolér TMS320F28035 od výrobcu Texas Instruments. Spracováva signály zo snímačov, ktoré sú pripojené na DPS BEMP, zaisťuje komunikáciu s BER po zbernici CAN. BEMC ďalej spracováva otáčky rotora a vyhodnocuje aktiváciu nadotáčkovej ochrany, filtruje a spracováva teplotu nasávaného vzduchu a výfukových plynov. Meranie teploty okolitého vzduchu je realizované pomocou kovového teplomeru typu PT100. Doska ďalej generuje PWM potrebnú pre roztočenie motora, spína palivové ventily, nastavuje a ovláda menič. [2]

1.3 BLDC motor

BLDC motor v preklade znamená bez-kefový jednosmerný motor a v súčasnosti nahrádza vo väčšine aplikáciách jednosmerné motory, ktoré používajú na komutáciu klasické uhlíky. Oproti tradičným motorom s uhlíkovými komutátormi ponúkajú

BLDC motory výhody v oblasti výkonu, spoľahlivosti a v efektívite. Ich ďalšími výhodami sú menšie rozmery, dlhá životnosť, nízky nárok na servis, pretože neobsahujú mechanické prvky komutátora. Konštrukcia bez mechanického komutátora dosahuje vyššiu efektívnosť, pretože nevzniká mechanické trenie komutátora o rotor.

BLDC motory sú využívané vo viacerých odvetviach priemyslu, ako automobilový a letecký. Ďalej sú využívané v robotike, ale aj v bežných zariadeniach každodenného života. Elektronické riadenie umožňuje presné nastavenie otáčok a smeru otáčania. Tento motor vďaka svojej konštrukcii a ovládaniu dokáže dodávať konštantný moment v celom rozsahu otáčok, a preto je vhodný rovnako na použitie pre aplikácie ktoré vyžadujú vysoký moment pri nízkych otáčkach, ako aj pre vysokootáčkové aplikácie. [5] [6]

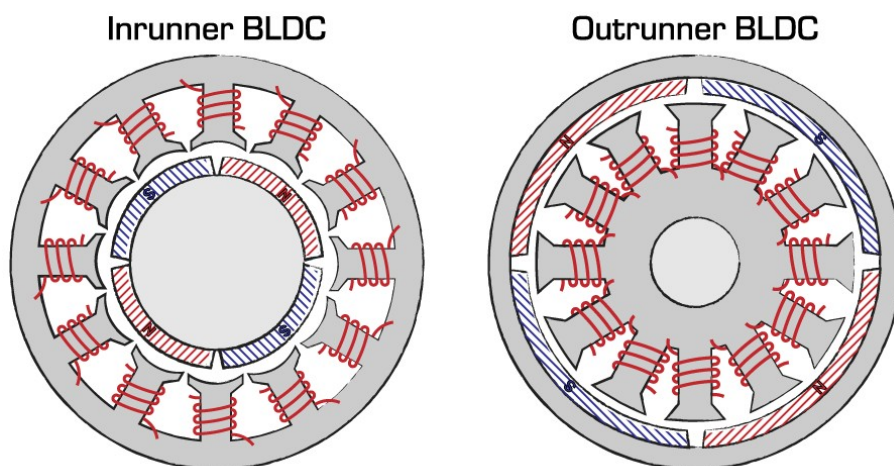


Obr. 1.4: Ukážka BLDC motoru[7]

1.3.1 Konštrukcia BLDC motora

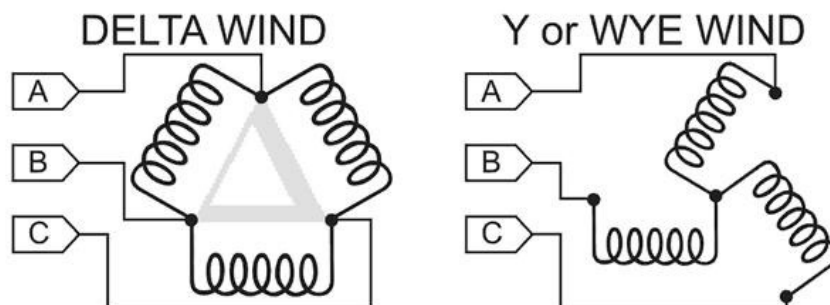
Konštrukcia elektrických motorov sa typicky skladá zo statora a rotora. BLDC motory delíme na dva druhy tzv. Inrunner, kde stator motora je súčasťou obalu motora a po obvode sa nachádzajú cievky, ktoré sa na statore nachádzajú v páre oproti sebe. Rotor tvoria permanentné magnety, ktoré sú usporiadané po obvode z vnútornej strany a kopírujú rozloženie cievok na statore. Druhým typom je tzv. Outrunner, ktorý funguje na rovnakom princípe ale rotor sa tentokrát nachádza na vonkajšej časti motora a stator sa nachádza vo vnútri. Pri takomto rozložení dokáže motor generovať väčší moment, kdežto pri rozložení typu inrunner dosahuje motor vyšších otáčok. [8]

Privedením signálu na cievku sa v okolí vytvorí magnetické pole, ktoré spôsobí, že rotor bude priťahovaný k magnetu, ktorý sa nachádza na statore. Motory ďalej



Obr. 1.5: Ukážka konštrukcie BLDC motoru [9]

delíme podľa usporiadania vinutí na hviezdu a trojuholník. Usporiadanie do hviezdy má vyvedený neutrálny vodič pripojený na spoločnú zem, kedy tento vodič dokáže ochrániť motor pred prepätím alebo preťažovaním. Naopak motor so zapojením do trojuholníka týmto vodičom nedisponuje, preto dokáže lepšie fungovať v podmienkach s vyváženou záťažou. [10]



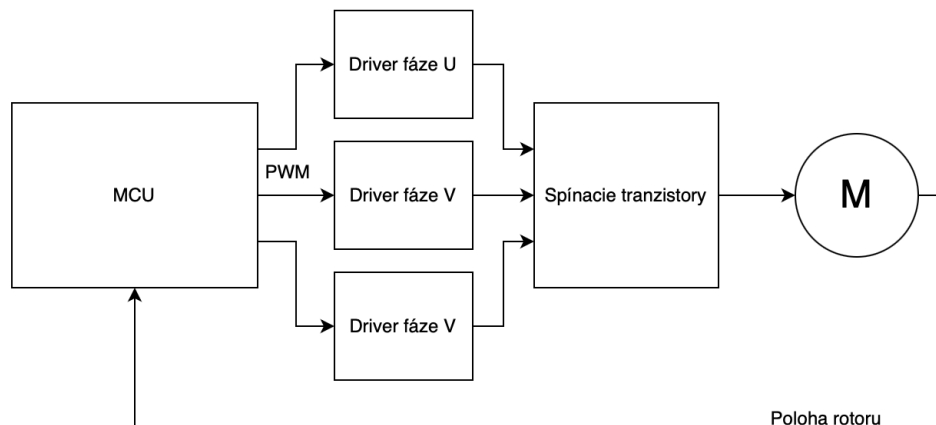
Obr. 1.6: Zapojenie hviezda - trojuholník [11]

Hlavnou nevýhodou oproti bežným DC motorom je, že BLDC motor nie je možné ovládať len zmenou hladiny napätia. Nato, aby sa BLDC motor roztočil, je potrebné priviesť napätie na cievky v požadovanom poradí. V prípade použitia meniča pre BLDC je možné vytvoriť točivé magnetické pole. To vytvorí rotačný pohyb rotora, ktoré zaisťuje kontrolér motora. Zmena signálov pre jednotlivé cievky prebieha vo frekvenciách zvyčajne 20 kHz. BLDC motor na funkciu potrebuje takýto kontrolér, ktorý kombináciou spínania párov cievok rotuje magnetické pole. Pri ovládaní

motora je nutné poznať aktuálnu polohu motora.

1.3.2 Menič pre BLDC motor

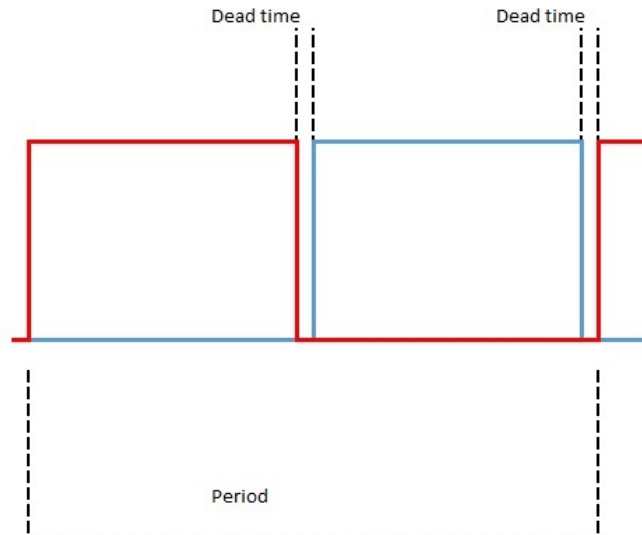
BLDC motor je možné ovládať pomocou tranzistorov v mostíkovom usporiadaní. Ovládanie je možné rozdeliť na dva typy. Zapojenie s použitím polovičného mostíka, alebo zapojenie s plným mostíkom. Použitie polovičného mostíka využíva 3 tranzistory, každý pre jednu fázu a postupným spínaním sa vytvára točivé magnetické pole. Toto zapojenie vyžaduje motor s hviezdicovým usporiadaním a vyvedeným neutrálnym vodičom, ktorý je zapojený tak, že cez diódy sa uzatvára elektrický obvod. Takéto zapojenie je však v praxi nahradzované plným mostíkovým zapojením. Pre fungovanie sa využíva 6 tranzistorov. Použité tranzistory sú najčastejšie typu N-MOSFET. [12] [13]



Obr. 1.7: Blokovaná schéma meniča

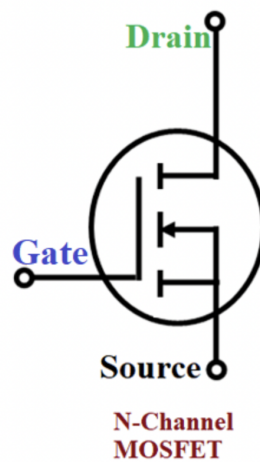
1.3.3 Dead time

Pri používaní plného mostíka je potrebné si dať pozor na to, aby neboli súčasne zopnuté oba tranzistory spojené nad sebou, pretože takáto situácia spôsobí tvrdý skrat napájania na zem. Aby sa predišlo skratu, je potrebné pri návrhu spínania implementovať HW alebo SW dead time, ktorý zaisťuje, že pri zopnutí horného tranzistora bude spodný tranzistor vždy vypnutý a naopak. V praxi sa potom jedná o implementovanie krátkeho časového úseku, ktorý bude dostatočný na to, aby sa tranzistor spoľahlivo dostal zo zapnutého do vypnutého stavu a nenastal skrat. [14]



Obr. 1.8: Ukážka prepnutia signálu [15]

1.3.4 N - MOSFET



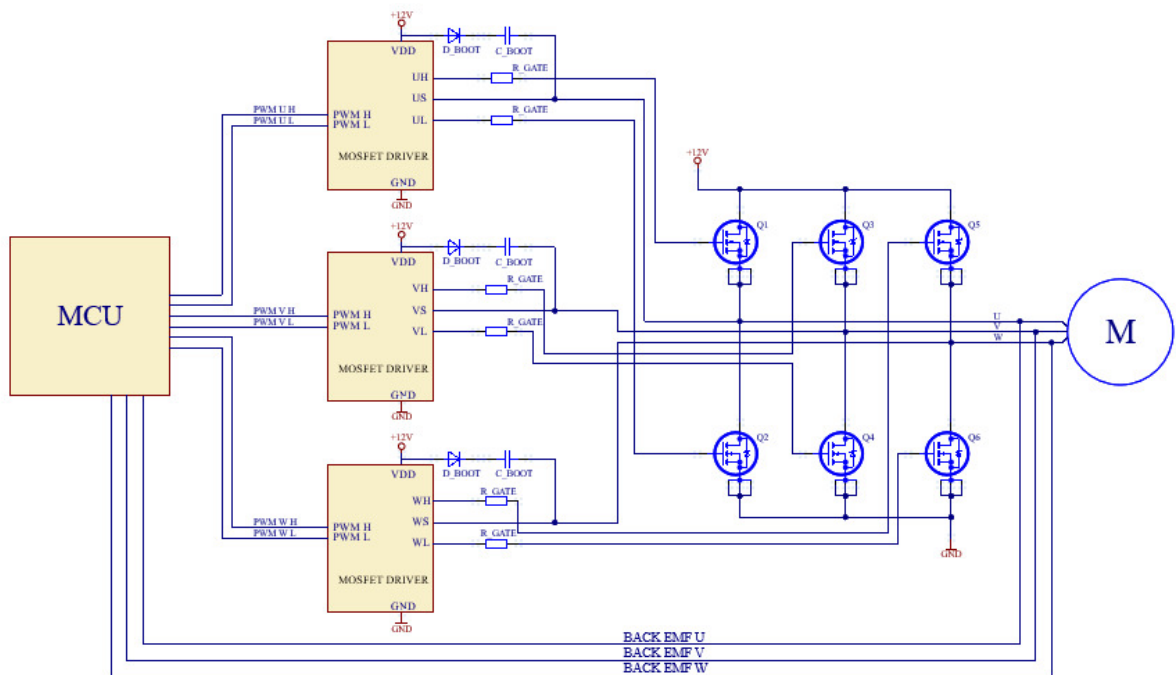
Obr. 1.9: MOSFET typu N [16]

Základnou elektrickou súčiastkou, ktorá tvorí menič pre BLDC motor je N-MOSFET. Jedná sa o polovodičovú súčiastku, ktorej hlavnou úlohou je spínanie a zosilovanie signálov. Na tranzistore sa nachádzajú 3 vývody: DRAIN, SOURCE a GATE. Tranzistor je zapojený do série so záťažou a zdrojom medzi vývody SOURCE a DRAIN a je ovládaný napätím, ktoré je privedené na GATE. [16]

1.3.5 Budič tranzistorov

Je elektronická súčiastka, ktorá sa používa na privádzanie signálov pre efektívne spínanie tranzistorov. Je rozhraním medzi riadiacim obvodom a výkonovou časťou. Prispôsobuje napäťové a prúdové úrovne pre konkrétne použitie, a je tak pomocou nej možné efektívne spínať mosfet aj pri vysokých frekvenciách. Výhodou použitia budiča je, možnosť spínania horného aj spodného tranzistora jedným budičom pripojeným týmto tranzistorom. Podmienkou je, že budič je na takéto použitie prispôbený, pretože budiče sa vyrábajú na spínanie horného, spodného alebo oboch tranzistorov. Prídavnou vlastnosťou budiča môže v niektorých prípadoch byť HW implementácia dead time. [17]

1.3.6 Princíp spínania



Obr. 1.10: Zjednodušená schéma meniča s budičmi

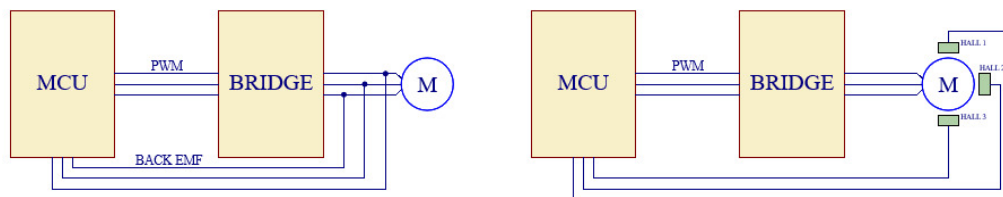
Pre spínanie jednej fázy sú potrebné dva tranzistory, ktoré sú uložené nad sebou a prepojené tak, aby SOURCE horného tranzistora Q1 nazývaného aj high-side switch bol prepojený s DRAIN spodného tranzistora Q2 – low-side switch. Stred, ktorý vznikne takýmto spojením je následne pripojený na jednu fázu motora. DRAIN tranzistora Q1 je pripojený na napájanie a SOURCE Q2 je pripojený na zem. Pomocou GATE Q1 a Q2 je možné otvárať jednotlivé tranzistory, a tým určovať polaritu

prúdu, ktorý bude tiecť cez jednotlivé cievky motora. Spodný tranzistor v zapojení vytvára virtuálnu zem, voči ktorej bude signál referencovaný. Týmto spôsobom je možné ovládať aj motor v zapojení do trojuholníka. [12] [13]

Z obrázku 1.10 vyplýva, že SOURCE tranzistora Q2 je referencovaný k potenciálu zeme a tranzistor Q1 je plávajúci. Pre zopnutie tranzistora Q2 stačí, ak je pripojené napätie G-S väčšie ako napätie potrebné pre zopnutie. To však neplatí o tranzistore Q1. Preto, aby bolo možné zopnúť tranzistor Q1, je potrebné zapojiť takzvaný bootstrap kondenzátor medzi napájanie a vyvedený stred oboch tranzistorov, ktorý sa pri zopnutí spodného tranzistoru nabije na úroveň napätia napájacieho zdroja a vytvorí tak potrebný rozdiel potenciálov G-S pre zopnutie horného tranzistora. V sérii s bootstrap kondenzátorom sa musí nachádzať aj bootstrap rezistor, ktorý limituje prúd ktorým sa kondenzátor nabíja a bootstrap dióda, ktorá zabraňuje vybitiu kondenzátora späť do zdroja. Pri použití dedikovaného budiča pre MOSFET sa bootstrap diódy väčšinou nachádzajú priamo v budiči, na ktorom sa nachádza pin pre priame pripojenie bootstrap kondenzátora. [12]

1.3.7 Spätná väzba polohy rotora

Pri návrhu ovládania BLDC motora je potrebné uvažovať o oblasti použitia a návrh koncipovať smerom, ktorý je najviac vyhovujúci pre dané použitie. Ovládanie je možné rozdeliť do dvoch základných kategórií, a to senzorové a bezsenzorové. Senzorové ovládanie využíva enkodér alebo Hallové sondy na určenie polohy rotora. Od tohoto riešenia sa v dnešnej dobe upúšťa, pretože senzory a kabeláž navyšujú náklady na výrobu a neprinášajú významné zlepšenie riadenia BLDC motora. [13]

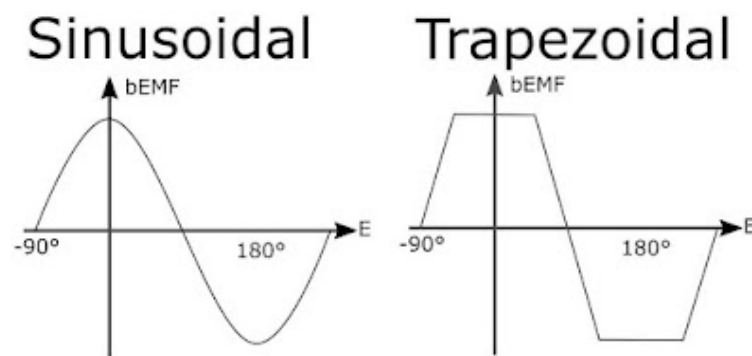


Obr. 1.11: Ukážka spätnej väzby senzorového a bez senzorového riešenia

1.3.8 Bez-senzorové riadenie

Zástavba BLDC motora, ktorý je riadený bezsenzorovo je v princípe rovnaká, ale odpadá pri nej použitie fyzického senzora na meranie polohy. Poloha motora je naďalej známa na základe hodnoty back EMF. Jedná sa o spätnú elektro-magnetickú silu, ktorú generuje motor vždy, keď vykoná pohyb. Na cievkach, ktoré v danom momente

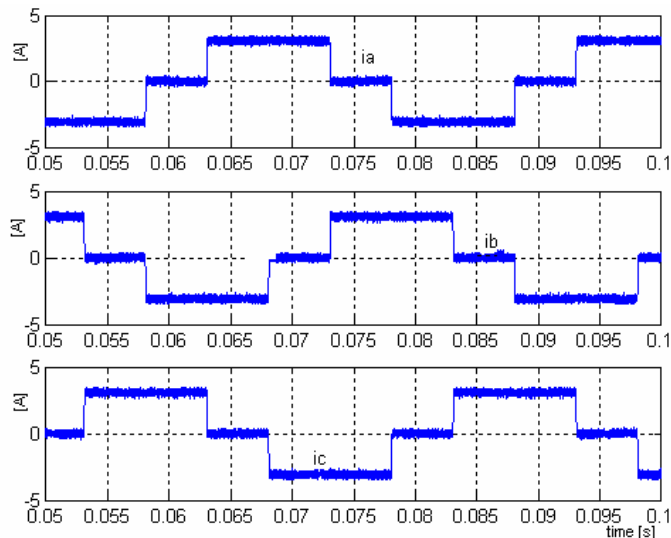
nie sú pod napätím sa naindukujú napätie, ktoré motorový kontrolér dokáže merať a vyhodnocovať pomocou algoritmu aktuálnu polohu rotora. Táto metóda umožňuje BLDC motoru udržať si konštantnú rýchlosť s meniacou sa záťažou. Nedostatkom tejto metódy je fakt, že back EMF nie je možné merať v prípade, že sa rotor nepohybuje. Tento nedostatok je možné odstrániť privedením rotora do známej polohy tzv. polohovaním rotora. Veľkosť back EMF je priamoúmerná rýchlosti motora. To znamená, že pri štarte a nízkych otáčkach má back EMF nízku hodnotu, preto je potrebné, aby bol motor štartovaný ovládaním bez spätnej väzby, a po dosiahnutí potrebných otáčok bol prepnutý do spätno-väzobného riadenia, alebo riadiaci obvod obsahoval prepínateľný rozsah. Pri návrhu kontroléra je tiež nutné uvažovať s tým, že back EMF signály generované motorom sú slabé a v prípade nesprávneho návrhu môže šum ovplyvniť čistotu signálu. Back EMF závisí od druhu komutácie, teda od signálu, ktorým je motor budený. Na obrázku 1.12 sú zobrazené rozdiely back EMF medzi trapezoidálnou a sínusovou komutáciou, ktoré budú podrobnejšie vysvetlené v ďalšej kapitole. [18] [19]



Obr. 1.12: Ukážka rozdielu back EMF medzi trapezoidálnou a sínusovou komutáciou [20]

1.3.9 Trapézoidálna komutácia

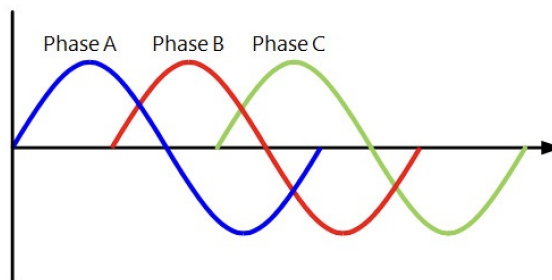
Najjednoduchším spôsobom ako ovládať BLDC motor je pomocou trapézoidálnej komutácie. V prípade, že sa jedná o trojfázový motor, sú posielané obdĺžnikové signály vždy do dvoch cievok a jedna zostáva bez napätia. Toto postupné zapínanie vytvára točivé magnetické pole, ktoré roztočí stator. Tým, že sa jedná o obdĺžnikové signály, pri tomto type riadenia sa rotor otáča o 60 stupňov a dochádza k významným prúdovým špičkám. Preto je toto riadenie vhodné na aplikácie, kde sa nevyžaduje vysoká presnosť. Tento typ riadenia nie je vhodný pre nízko-rýchlostné aplikácie. [21]



Obr. 1.13: Prúdové priebehy jednotlivými fázami trapezoidálnou komutáciou [22]

1.3.10 Sínusoidálna komutácia (PWM)

V prípade použitia tohto typu riadenia je na rozdiel od predchádzajúceho riešenia signál posielaný do všetkých troch cievok naraz. Signály sínusového tvaru sú voči sebe posunuté o 120 stupňov a vytvárajú tak veľmi jemné rotujúce magnetické pole. Takto vygenerované pole potom oproti trapezoidálnej komutácii nevytvára vysoké prúdové špičky, čím je otáčanie motora veľmi jemné. [23] [24]



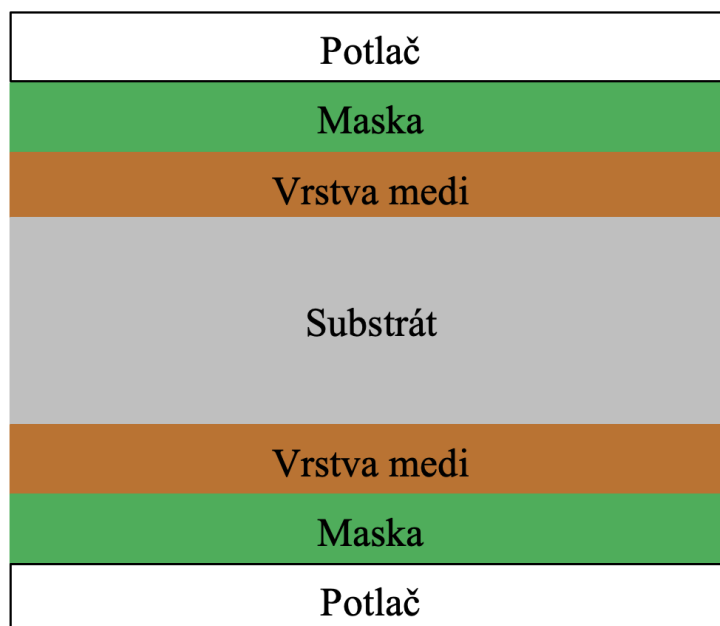
Obr. 1.14: Prúdové priebehy jednotlivými fázami sínusoidálnou komutáciou [24]

1.4 Výroba a testovanie DPS

V tejto kapitole budú popísané metódy výroby dosiek plošných spojov, ako aj najčastejšie defekty, ktoré pri výrobe a manipulácii nastávajú a tiež metódy, ako tieto defekty odhaliť.

1.4.1 Výroba dosky plošných spojov

Doska plošných spojov alebo skrátene DPS, je názov pre pasívnu elektronickú súčiastku, ktorá slúži na to, aby prepájala jednotlivé komponenty obvodu. Komponenty môžu byť typu THT, teda vývodové komponenty, ktoré sú prichytené vložением skrz DPS a následným prispájkovaním, alebo SMD komponenty, ktoré sú prispájkované priamo na povrch.



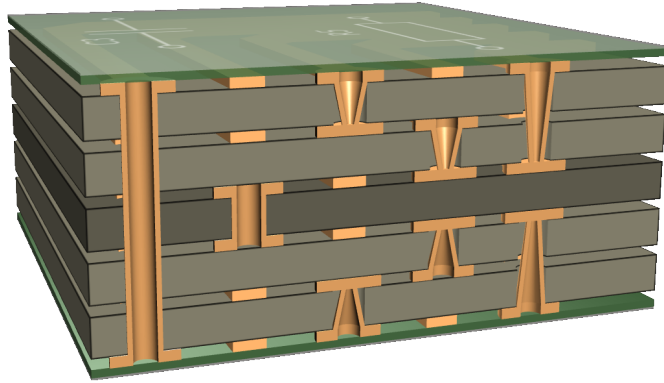
Obr. 1.15: Ukážka jednotlivých vrstiev 2 - vrstvej DPS

DPS sa skladá zo 4 hlavných častí, ktoré reprezentujú jednotlivé vrstvy:

- Substrát – najčastejšie ho tvorí laminát s názvom prepreg, čo predstavuje laminát impregnovaný resinom.
- Vodivé vrstvy – pri prevažnej väčšine je DPS tvorená vrstvou medi, ale v niektorých prípadoch môže byť použitý aj hliník. Jednoduchšie návrhy je možné navrhnuť na jedno alebo dvoj-vrstvú DPS, pre zložitejšie návrhy môže byť použitá aj 4, 6 alebo 8-vrstvová DPS.
- Maska – je vrstva polyméru, ktorý v prvom rade slúži ako izolant, aby bola DPS chránená pred skratami s okolitými predmetmi, zabraňuje tiež oxidácii medenej vrstvy a pomáha pri ručnom aj strojovom spájkovaní tým, že zabraňuje cínovej spájke vzlínaniu pozdĺž vodivej cesty. Dodáva doske charakteristický zelený vzhľad, farba však môže byť aj iná, závisí od kapacít výrobcu.
- Potlač – posledná vrstva DPS, ktorá pomáha pri osádzaní, obsahuje informáciu o označení komponentov, natočenie súčiastky, názov zariadenia, revíziu

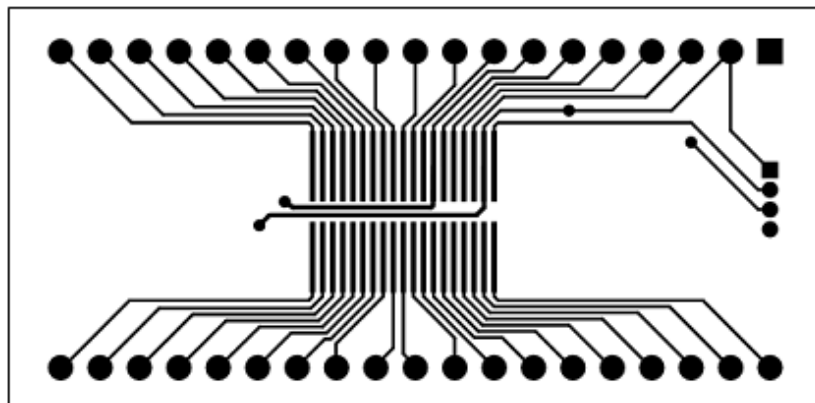
výrobcu. [25]

Aby mohol byť signál vedený aj cez viac vrstiev, jednotlivé vrstvy sa prepájajú pomocou vŕtaných dier, ktoré sú následne pokovované. Prekovy môžu byť zapustené úplne alebo čiastočne, prípadne cez celú DPS. [25]



Obr. 1.16: Ukážka rôznych druhov prekovov [26]

Vo vývojovom prostredí určenom na návrh DPS, ako napríklad Eagle alebo Altium Designer, sa z vytvoreného návrhu vygenerujú takzvané gerber súbory, ktoré obsahujú informáciu o tom, aké tvary majú mať dané vrstvy medi.



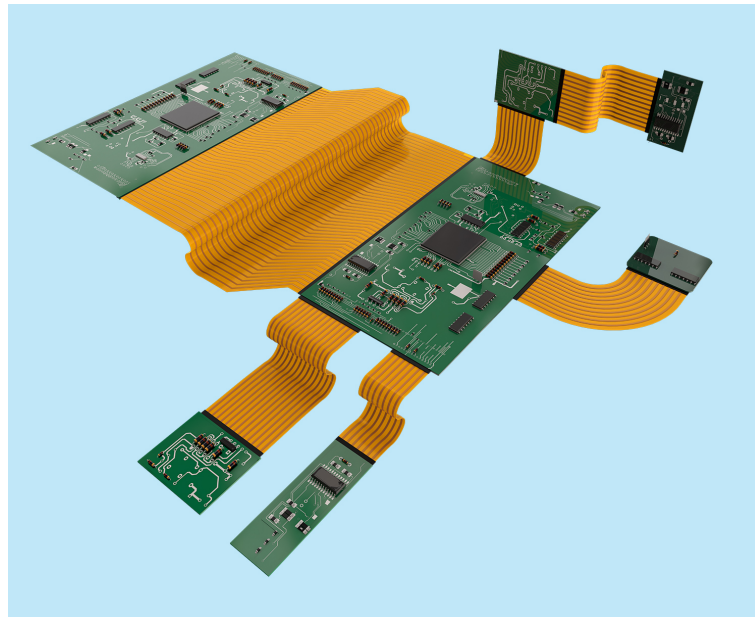
Obr. 1.17: Príklad gerber súboru [27]

Takéto obrázky potom slúžia ako maskovacia vrstva, ktorá je nanosená na jednotlivé vrstvy medi. Následne je medený polotovár s nanosenou maskou vložený do tekutiny, ktorá rozpustí meď nepokrytú maskou a vytvorí tak 1 vrstvu DPS. Výrobca potom vyžaduje pre vyrobenie 2-vrstvovej DPS 9 gerber súborov. Jedná sa o vrchnú a spodnú vrstvu medi, obrázok vrchnej a spodnej masky, potlač vrchnej a spodnej strany, informácie o vŕtaných dierach a prekovoch, tvar a rozmery ohraničenia DPS

a sprievodný súbor. DPS je možné vyrobiť aj inými procesmi napríklad 2D frézou. [25] [27]

1.4.2 Ohybná DPS

Je špeciálnym typom dosky plošných spojov, ktorá je tvorená z medených vodivých ciest, obalená v ohybnom polyméri. Takáto doska zvyčajne býva ako prepoj medzi dvomi DPS, pri ktorých je potrebné, aby jedna bola v inom uhle ako tá druhá. [28]



Obr. 1.18: Ohybná DPS [28]

1.4.3 Osadenie DPS

Preto, aby mohla DPS splňať funkciu na ktorú je navrhnutá, je potrebné správne prispájkovať komponenty. Tento proces sa nazýva osadenie. Osadenie DPS môže prebiehať dvomi spôsobmi, tým prvým je manuálne osadenie, najmä keď sa jedná o THT komponenty, alebo keď sa jedná o malé množstvo SMD súčiastok. Druhým spôsobom využívaným pri väčšom počte SMD komponentov a v prípade že sa jedná o sériovú výrobu a vychádza časovo aj finančne výhodnejšie je strojové osadenie. Toto zariadenie sa nazýva pick and place. [29]

Pri tomto procese sa pomocou šablóny naniesie presné množstvo cínovej pasty a komponenty, ktoré sú výrobcom dodávané na navinutých roľkách sú vložené do automatu a následne robotické rameno ukladá komponenty na DPS. Po osadení sa DPS vložia do teplotnej komory, kde na nich pôsobí teplotný profil presne stanovený



Obr. 1.19: Ukážka zariadenia na osadenie DPS [29]

výrobcom cínovej pasty, ktorý pastu prehreje a prispája ku DPS. [29]



Obr. 1.20: Rolka SMD komponentov [30]

1.5 Typy defektov a spôsoby odhalenia

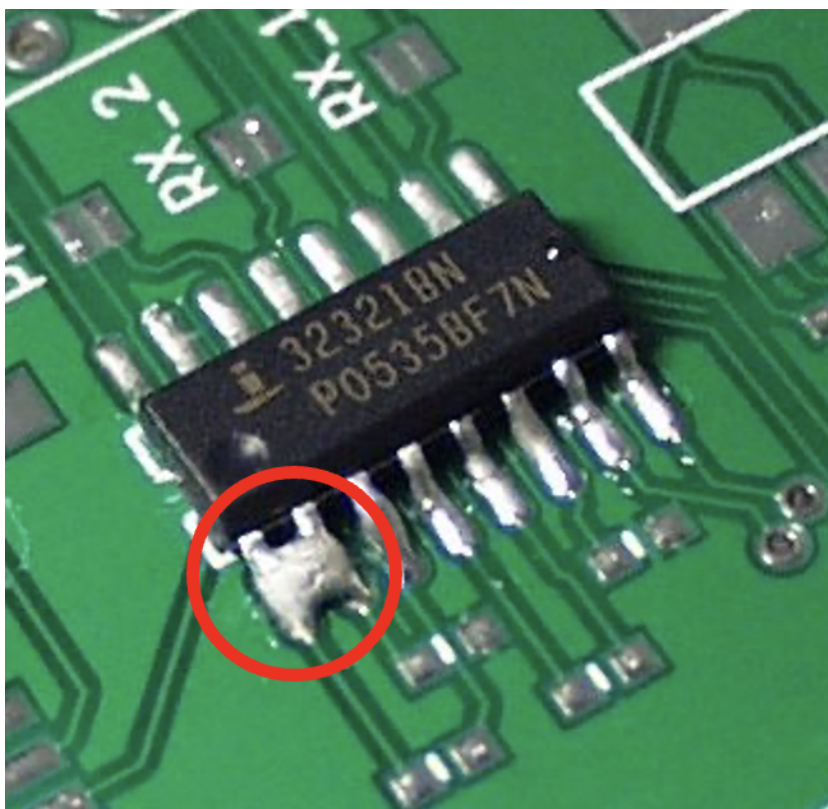
Testovanie dosiek plošných spojov po vyrobení je jedným z hlavným spôsobov ako určiť, že DPS spĺňa kvalitu určenú výrobným postupom. Chyby na DPS môžu vzniknúť počas výroby DPS, v procese osadenia DPS, alebo pri manipulácii a preprave.

1.5.1 Defekty pri výrobe DPS

Jednou z možností ako určiť, či je DPS vyrobená správne je test kontinuity, ktorý zaručí, že vodivé cesty nie sú poškodené a majú nízku impedanciu. Tento test vykonáva výrobca DPS ako výstupný protokol o kvalite. [37] Pri viac-vrstvových DPS môže pri vystavení tepelným zmenám nastať jav, pri ktorom sa doska v niektorom smere prehne. Tento ohyb by mohol spôsobiť spojenie niektorých vnútorných vrstiev, ktoré zapríčinia skrat.

1.5.2 Defekty pri osadení DPS

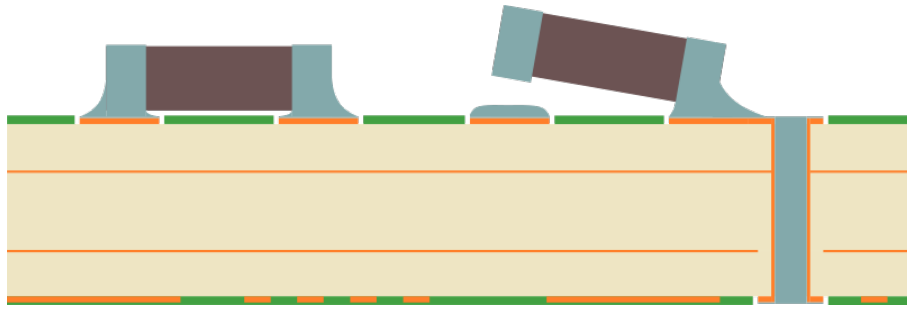
Medzi najčastejšie nedostatky spojené s osadením patria javy, ktoré vznikajú použitím príliš veľkého alebo príliš malého množstva spájkovacej pasty, alebo nesprávnym aplikovaním tepla. Solder bridge, teda mostík, ktorý vznikne pri použití príliš veľkého množstva cínovej spájky a prepojí tak dva susediace kontakty, ktoré prepojené nemajú byť. Takýto mostík môže tiež spôsobovať skrat. [31]



Obr. 1.21: Solder bridge (upravené) [32]

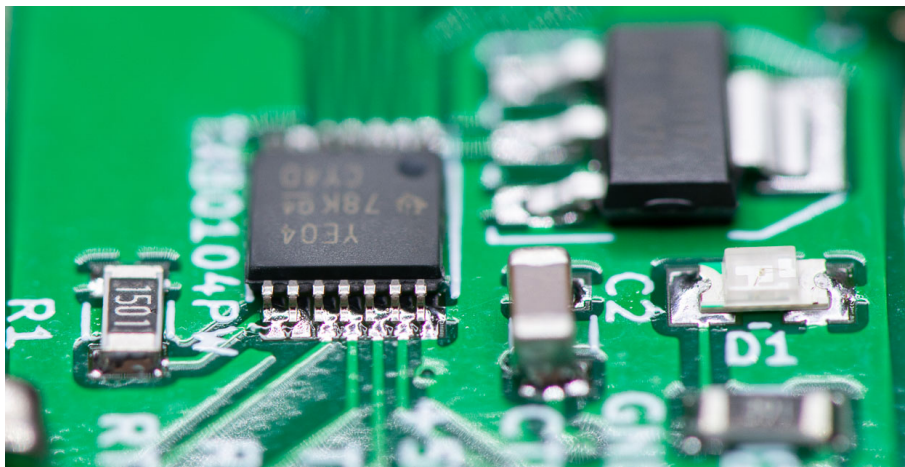
Ďalšou z chýb je tombstoning a nastane, keď sa SMD komponent pri tavení cínu vplyvom nerovnomerne rozloženého tepla postaví na jeden z dvoch padov a vznikne

tak otvorený obvod. [31]



Obr. 1.22: Tombstoning [33]

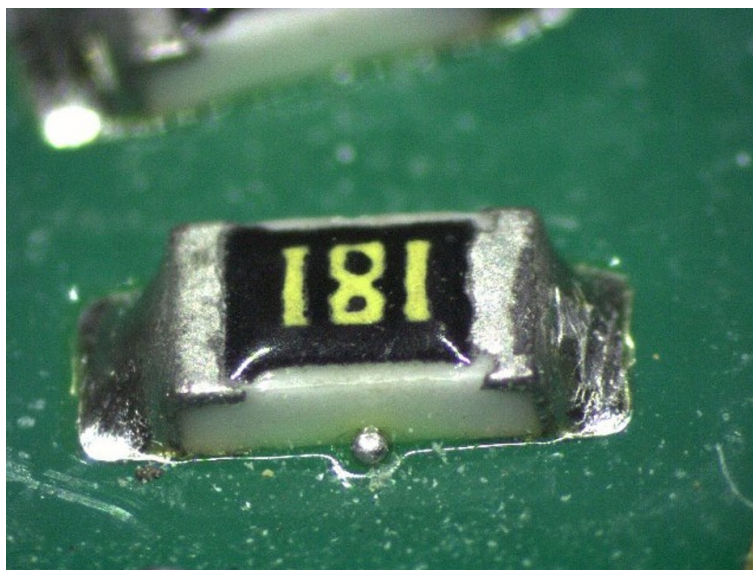
K podobnému prípadu môže dôjsť pri použití príliš veľkého množstva spájky, kedy súčiastka takzvané zapláva, teda posunie sa v niektorom smere a buď sa nepripojí, alebo sa pripojí k vývodom na ktoré nepatrí. [31]



Obr. 1.23: Ukážka zaplávania súčiastky [34]

Po osadení komponentov sa DPS musí umyť od zostatkového tavidla. Pokiaľ tak nebolo učené, môžu cínové spoje začať oxidovať. Pri aplikovaní tepla sa môže stať, že sa časť prebytočného cínu oddelí v podobe malých guľičiek, ktoré zostanú voľne ležať prilepené zbytkovým tavidlom na DPS, kde môžu spôsobovať problémy v podobe skratu a to v prípade, že sa nachádzajú napríklad medzi vývodmi, ktoré sa nachádzajú blízko pri sebe. Správne umytá DPS nesmie obsahovať takéto guľičky. [31]

Použitie príliš málo spájky zase môže mať za následok nedostatočné pripojenie, takzvaný studený spoj, ktorý vznikne nedodržaním stanoveného času, alebo predpísanej teploty prehrievania. [31]



Obr. 1.24: Ukážka cínovej guličky [35]

1.5.3 Defekty pri manipulácii a preprave

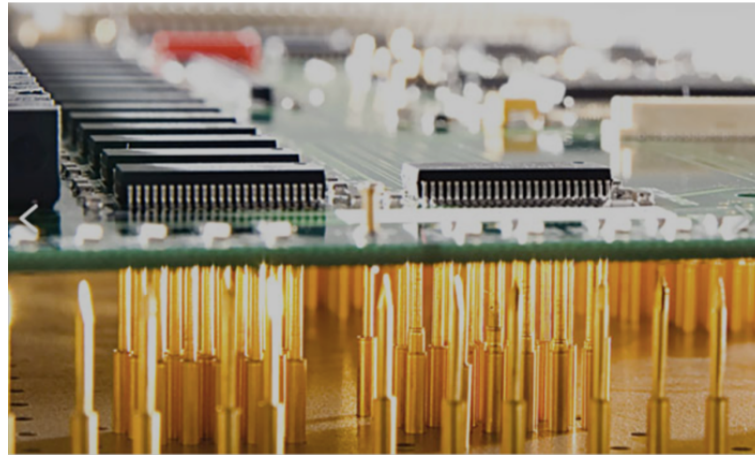
Elektronické komponenty sú citlivé na elektrostatický výboj, ktorý môže človek vygenerovať, a preto je potrebné, aby personál, ktorý bude s osadenými DPS pracovať, bol riadne vyškolený a používal ochranné pracovné prostriedky, ako napríklad antistatické rukavice, obuv. Laboratórium má byť vybavené antistatickými stolom, stoličkami a uzemňovacím náramkom. Pri preprave a prenášaní je nutné, aby boli DPS zabalené v antistatickej bublinkovej fólii. [36]

1.5.4 Metódy na odhalenie defektov

Aby vyššie popísané defekty mohli byť odhalené, je potrebné každý vyrobený kus podrobiť sade testov, ktoré za každých okolností dokážu defekty odhaliť. Základný spôsob ako overiť správnosť osadených komponentov je optická kontrola, pri ktorej pracovník zrakom prípadne pod mikroskopom dokáže odhaliť viditeľné nedostatky. Aj keď môže optický test odhaliť mnohé počiatočné problémy, je potrebné ďalej skontrolovať vyrobené zariadenie aj po elektrickej stránke, či niektorý z komponentov nie je poškodený. [37]

Medzi zisťované poškodenia patria napríklad skrat, rozpojený obvod, prerazené diódy, nefunkčný integrovaný obvod alebo procesor. Jednou z používaných metód je testovanie v obvode, (In circuit testing), ktorý počas testovania púšťa prúd cez elektrické sondy pripojené na DPS v určených testovacích bodoch. Tieto testy môžu

skontrolovať skraty a prerušené obvody, identifikovať chýbajúce komponenty, nájsť chyby, ktoré vznikli nesprávnym spájkovaním alebo odhaliť nesprávne orientované komponenty. [37]



Obr. 1.25: Zariadenie na testovanie v obvode [38]

V prípade že DPS splní ICT ešte neznamená, že bude funkčná. Preto je potrebné vykonať ďalšiu sadu testov, ktoré zaručia, že zariadenie bude pracovať podľa stanovených podmienok. Takéto testy sa volajú funkčné testy a zaručia, že zariadenie je schopné vykonávať danú funkciu. V závislosti od zložitosti zariadenia sa môže jednať o jednoduché testy, ktoré zmerajú napätie na výstupe, až po komplexné testy. Zariadenie je zvyčajne testované na základe funkčných blokov, ktoré sú zodpovedné za vykonanie jednej, alebo viacerých funkcií.

1.6 Proces testovania, testovacie prípady a procedúry

V tejto kapitole bude popísaný aktuálny proces testovania riadiacej jednotky E040 a budú priblížené dôvody pre návrh nového zariadenia. Ďalej budú definované požiadavky na testovacie zariadenie, popísané testovacie prípady a testovacie procedúry.

1.6.1 Aktuálny proces testovania

Výrobný proces jednotky BEM pozostáva z viacerých úkonov, ktoré vykonávajú viaceré spoločnosti. Pri tomto procese sa po vyrobení DPS a osadení SMD komponentami v oddelení výroby dosadia vývodové súčiastky. Aby bolo zaručené, že všetky procesy prebehli podľa schváleného výrobného postupu, je potrebné preveriť ich funkciu. Preto je proces testovania kľúčovým prvkom výroby zariadenia, ktorého

účelom je odhaliť chyby použitých komponentov, alebo chyby ktoré nastali pri výrobnom procese. Proces oživenia jednotky BEM je popísaný vo výrobnom postupe, v ktorom je podrobne popísané, ako je potrebné pri oživovaní postupovať. Testovacie procedúry je možné vykonávať pracovníkom manuálne, ale vzhľadom k rozsahu a časovej náročnosti zvyčajne 4 až 5 hodín, nie je možné pri malosériovej výrobe proces testovania vykonávať manuálne. Manuálny proces je tiež viac náchylný k chybám. Preto sa už pri vývoji 0-tej revízie (prvá generácia zariadenia) BEM prešlo k automatizovanému testovaniu. Momentálne sa na testovanie používa testovací prípravok TPR_E040_NI. [39]



Obr. 1.26: Testovacie zariadenie TPR_E040_NI [40]

1.6.2 Testovací prípravok

Aktuálny testovací prípravok TPR_E040_NI je založený na platforme firmy National Instruments. Jedná sa o jednoúčelový testovací prípravok, ktorého hlavnou funkciou je oživenie a otestovanie zariadení BER a BEM. Je založený na c-Rio 9082, ktoré pomocou príslušných analógových, digitálnych, odporových kariet ovláda proces testovania. Testovacie sekvencie sú navrhnuté v prostredí LabView a cez prostredie NI TestSand je výsledok testu vygenerovaný do protokolu. Zariadenie je zložené z viacerých DPS, ktorých účelom je vytvoriť rozhranie pre pripojenie testovacích DPS, vnútorne prepojiť testované DPS s testovacím prípravkom, predspracovať signály pre meracie karty, generovať napätové hladiny a signály. [40]

Testovací prípravok bol navrhnutý pre prvú generáciu zariadenia BEM, ktoré malo odlišné rozloženie komponentov ako súčasná generácia zariadení. Tieto zmeny preto bolo nutné pri každej zmene zariadenia odzrkadliť aj na testovacom prípravku. Následne, keď bolo potrebné pridať nový prvok testovania, boli tieto zmeny zakomponované do súčasného TPR. Pri aktuálnom procese testovania dochádza za doposiaľ nezistených príčin pri nízkom percente vyrobených zariadení k tomu, že pri DPS BEMP a BEMC ktoré prešli prvým testom a sú spojené, po spojení a následnom pretestovaní neprejdú všetkými testami. Typicky sa jedná o testy spojené s roztočením štartér-generátora, kde nefunkčnosť spôsobujú poškodené tranzistory. Napriek tomu že sa jedná o malú chybu, ktorej riešenie na samostatnej DPS zaberie do 10 minút, v prípade že sú DPS prepojené, sa tranzistory nachádzajú z vnútornej strany BEM, a takáto oprava sa natiahne aj na dve hodiny a stáva z časového hľadiska nerentabilná. Na základe tohto nedostatku a vykonaných úpravách od prvej generácie na TPR došlo k rozhodnutiu, že na oživenie, otestovanie a kalibráciu jednotky BEM bude vyvinutý nový testovací prípravok. Za súčasnej situácie bude zariadenie TPR_E040_NI stále využívané na testovanie jednotky BER, čo umožní paralelné testovanie oboch modulov.

1.6.3 Pribeh testovania

V prvom kroku sa jednotlivé osadené DPS BEMP a BEMC podrobia samostatnému testu, ktorého účelom je odhaliť chyby, ktoré mohli vzniknúť pri výrobe DPS, alebo v procese automatického osadenia. DPS BEMP sa vloží do TPR_E040_NI. Test sa vykonáva bez pripojeného napätia a tester zaznamená hodnoty impedancie a porovná ich so zadanými hodnotami z technickej špecifikácie. Toto meranie je nutné vykonať pred prvým pripojením napájania, pretože tento proces má za úlohu tiež odhaliť vadu súčiastok, ktorých zlyhanie by mohlo mať za následok škody na testovanej DPS, alebo na testovacom prípravku. Meranie impedancie sa vykonáva na komponentoch, kde dochádza k spínaniu a na napäťových zdrojoch a úrovniach. Po overení, že sa na DPS nenachádzajú skraty, sú overené funkcie prúdového snímača, teplotné čidlo a priechodnosť zbernice CAN. Následne sa privedie napájacie napätie a skontroluje sa správnosť funkcie zdrojov, ktoré generujú napätie 3,3 V a 10 V. DPS BEMC je možné testovať len s funkčnou DPS BEMP. Do jednotky sa zavedie cez rozhranie JTAG software a nasleduje testovanie jednotky, v ktorom sa overuje funkčnosť jednotlivých blokov. Súčasťou týchto testov je overenie funkcie a kalibrácia teplotných čidiel, kontrola funkcie meniča, meranie otáčok, kontrola nadotáčkovej ochrany a štart sekvencie motora. Po splnení testov sú v oddelení výroby DPS BEMP a BEMC prispájkované na seba a tvoria tak jednotku BEM. Ako

posledné sú na jednotke vykonané ATP. [39] [40]

1.7 Požiadavky na testovacie zariadenie

Testovacie zariadenie musí byť bezpečné na používanie a musí spĺňať normy a vyhlášky platné na území Českej republiky, tiež musí byť navrhnuté podľa interných predpisov spoločnosti Unis a. s.. Hlavnou funkciou testovacieho zariadenia je odhaliť defekty, ktoré mohli vzniknúť vo výrobnom procese a zároveň spoľahlivo zaručiť, že je zariadenie schopné vykonávať svoju činnosť. Testovacie zariadenie bude musieť byť navrhnuté tak, aby za žiadnych okolností nebolo možné pri vykonávaní testovania podľa postupu poškodiť EUT samotné testovacie zariadenie.

- Testovací proces musí spoľahlivo a opakovateľne vyhodnotiť stav EUT a nesmie generovať falošne pozitívne alebo falošne negatívne výsledky.
- Testovacie zariadenie bude navrhnuté tak, aby ním bolo možné automatizovane oživiť DPS BEMP a bolo schopné efektívne pokryť všetky testovacie prípady.
- Testovacie zariadenie bude navrhnuté tak, aby ním bolo možné automatizovane oživiť DPS BEMC a bolo schopné efektívne pokryť všetky testovacie prípady.
- Testovacie zariadenie bude musieť byť schopné otestovať modul BEM bez nutnosti nerozoberateľného spojenia.
- Zariadenie by malo byť schopné pracovať väčšinu času samočinne, s čo najmenším počtom vstupov operátora.
- Procesy testovania bude možné programovať v prostredí LabView.
- Komponenty, z ktorých bude zariadenie zložené by mali byť vyberané tak, aby mohli byť v návrhu čo najviac znovu použiteľné, nesmie to však byť na úkor bezpečnosti alebo presnosti.

2 Rozbor modulu BEM riadiacej jednotky E040

V tejto kapitole sú podrobne popísané funkcie modulu BEM riadiacej jednotky, stanovené limity pre každý výrobný alebo funkčný test a je popísaný postup, podľa ktorého boli navrhnuté testovacie prípady a testovacie procedúry.

2.0.1 Modulu BEM

Kontrolu funkcie modulu BEM je možné rozdeliť do dvoch skupín. Prvú skupinu tvoria testy, ktoré sa označujú ako výrobné a ich úlohou je zistiť, či nedošlo k pochybeniu pri výrobe alebo osadení DPS. Druhú skupinu tvoria funkčné testy, ktoré testujú celé zariadenie a majú za úlohu overiť funkčnosť blokov. Tieto testy ďalej zaručia, že sa zariadenie bude chovať predvídateľne pri funkčných testoch.

Jedná sa o:

- zistenie skratu alebo rozpojenia napätových ciest.
- zistenie skratu alebo rozpojenia niektorého z výkonových MOSFET.
- overenie osadenia elektrolytických kondenzátorov meraním kapacity medziobvodu.
- overenie funkcie snímača prúdu.
- overenie priechodnosti ochrany zbernice CAN.
- overenie funkčnosti integrovaných napätových zdrojov.

2.1 Návrh testovacích prípadov DPS BEMC a BEMP

V tejto kapitole sú na základe testovacích prípadov rozobraté časti riadiacej jednotky a vysvetlené funkcie blokov, ktoré je potrebné testovať. Pri každom teste môže nastať stav alebo môže byť zameraná veličina, ktorá keď bude zameraná, je možné test prehlásiť za úspešný. [2] [41] [42]

Skrat alebo rozpojenie napätových ciest

Aby sa predišlo poškodeniu testovacieho zariadenia alebo testovanej jednotky je potrebné pred pripojením napájania najskôr zistiť, či sa niektorá z ciest napájacieho alebo generovaného napätia nenachádza v skrate. Prípadne, či niektorý z komponentov na DPS nie je osadený. Jednotlivé napätové trasy je možné si predstaviť ako obvody s konkrétnou impedanciou. U DPS BEMP sa jedná o trasy napájacieho napätia Usup, Ugen, ktoré je výstupom zo štarér-generátoru a generované hladiny 3,3 V a 10 V. U DPS BEMC sa jedná o napätové hladiny 3,3 V, 10 V a 5-voltovú

referenciu. Pri experimentálnych testoch bolo zistené že impedancia popisovaných hladín sa pohybuje od 1600 Ω do 47000 Ω . Výsledkom testu bude informácia že daná napätová úroveň sa nachádza v impedančnom rozsahu.

Skrat alebo rozpojenie výkonových mosfet

Na DPS BEMC sa nachádza 12 výkonových MOSFET, ktoré ovládajú funkciu BLDC meniča, spínajú palivové ventily a regulujú napätie dodávané do siete. Tak ako v predchádzajúcom prípade predčasné pripojenie napájania by mohlo spôsobiť skrat a neosadený alebo nefunkčný MOSFET by zapríčinil nefunkčnosť zariadenia, preto v nasledujúcich testoch je potrebné skontrolovať ich stav. Výsledkom testu bude informácia, že každý z MOSFET sa nenachádza v stave skratu alebo rozpojenia a že je schopný svojej spínacej funkcie.

Kapacita medziobvodu

DPS BEMC je osadená elektrolytickými kondenzátormi, ktoré slúžia na vyhladenie generovaného napätia. Overenie osadenia kondenzátorov bude určené veľkosťou kapacity medziobvodu. Výsledkom bude informácia, že kapacita obvodu sa nachádza v požadovaných hraniciach.

Snímač prúdu

Riadiaca jednotka dostáva informáciu o veľkosti odoberaného prúdu zo zosilňovača LTC6101, ktorý je pripojený na 1,5 m Ω bočník a zosilňuje úbytok napätia, ktoré tvorí pretekajúci prúd. Toto napätie potom prichádza na A/D vstup procesora a na základe vzorca je spätne prepočítaná na hodnotu prúdu. Podľa technickej špecifikácie sa musí napätie merané s napätím prepočítaným rovnať maximálne o 0,05 V v celom rozsahu.

Ochrana zbernice CAN

Modul BEM komunikuje s modulom BER protokolom CAN aerospace. Ochrana a zakončenie zbernice CAN sa nachádzajú na DPS BEMC. Zbernica CAN sa považuje za správne osadenú, keď sa jej impedancia pohybuje v rozsahu 0,1 – 10 Ω .

Overenie funkcie integrovaných napätových zdrojov

Na DPS BEMC sa nachádzajú dva napätové zdroje. Zdroj V LT1776 je spínaný zdroj, ktorý generuje jednosmerných 3,3 V pre funkciu procesora a logických obvodov, ktorý sa nachádza na DPS BEMC. Za obvodom sa nachádza LC filter, ktorý potláča vyššie harmonické. Po pripojení napájania a nezaťaženom obvode musí zdroj

dodávať napätie v rozsahu 3,2 – 3,4 V. Ďalším zdrojom je lineárny LDO LT3062, ktorý premieňa vstupné napätie na jednosmerných 10 V, ktoré sú používané prevažne na funkciu budičov MOSFET. Napätie v tomto prípade musí byť bez pripojenej záťaže v rozsahu 9,5 až 10,5 V. [43] [44]

2.1.1 Návrh testovacích prípadov modulu BEM

Po vykonaní výrobných testov je možné jednotlivé signály dosiek BEMP a BEMC spojiť a prejsť k testovaniu modulu BEM. Test modulu BEM pozostáva z nasledujúcich úkonov, tie sú podrobne popísané nižšie. [2] [41] [42]

- Meranie prúdového odberu pred zavedením SW.
- Meranie prúdového odberu po zavedení SW.
- Meranie napätí a porovnanie s meraním jednotky.
- Meranie a kalibrácia teplotných snímačov.
- Meranie a kalibrácia napätí jednotlivých fáz.
- Overenie merania otáčok.
- Kontrola funkcie nad-otáčkovej ochrany.
- Spínanie palivových ventilov.
- Overenie funkcie meniča.
- Štart sekvencia motoru.

Prúdový odber modulu BEM

Skratky, ktoré boli testované v predchádzajúcich krokoch sú vybraté na základe toho, že sa nachádzajú v mieste kde by skrat mohol zapríčiniť nefunkčnosť alebo poškodenie riadiacej jednotky. Kvôli komplexnosti riadiacej jednotky nie je možné určiť skrat v každom mieste, ale každá jednotka má definovaný konkrétny prúdový odber pred a po zavedení software, ktorý dokáže odhaliť doposiaľ neodhalené skraty alebo rozpojené obvody. Z technickej špecifikácie vyplýva že riadiaca jednotka má v stave bez SW a po pripojení napájania odber 0,4 – 0,45 A. Po zavedení SW prúdový odber klesne na 0,05 – 0,1 A.

Napätia merané riadiacou jednotkou

Riadiaca jednotka pomocou A/D prevodníka na vstupe procesora meria hladiny všetkých napätí, vyhodnocuje stav riadiacej jednotky a upravuje napätie generované do palubnej siete. Po zbernici CAN je možné sa k jednotke pripojiť a vyčítať z príslušných registrov hodnoty napätí a porovnať ich s reálnymi napätiami meranými testovacím zariadením. Výsledkom testov bude porovnanie napätí 10V, 3V3, Usup, Ugen a 5V meraných ECU a TPR.

Meranie a kalibrácia teplotných snímačov

Meranie teplôt nasávaného vzduchu a výfukových plynov je dôležitou súčasťou riadiacej jednotky pomocou ktorých dokáže určiť stav ECU a vyhodnocovať riadenie. Bez správnych informácií o okolitej teplote by jednotka pracovala neefektívne a mohla by sa správať nepredvídateľne. Preto je potrebné, aby zaznamenávanie teploty bolo presné a aby jednotka bola kalibrovaná na konkrétne snímače. Teplota nasávaného vzduchu meraná kovovým snímačom typu PT100 a jeho rozsah -60 až 120 °C. Teplota výfukových plynov je meraná termočlánkom typu K s rozsahom -50 až 1140 °C. V jednotke sa ešte nachádzajú dva termistory KTY82-210, z ktorých jeden sa nachádza na DPS BEMC pri prechode chromel-alumelového termočlánku a kompenzuje tak studený koniec a druhý sa nachádza na DPS BEMP a poskytuje informáciu o teplote meniča pre palubnú sieť s rovnakou presnosťou a rozsahom. [44]

Meranie a kalibrácia napätí jednotlivých fáz

Riadiaca jednotka monitoruje napätia na jednotlivých fázach štartér-generátora. Pre správnu funkciu je potrebné, aby jednotka merala napätia správne, preto je potrebné meranie kalibrovať. Príkazom ATEN je riadiaca jednotka schopná upravovať rozsah meraného napätia pre lepšie rozlíšenie pri nízkych otáčkach.

Overenie merania otáčok

Jednou z kľúčových funkcií riadiacej jednotky je meranie otáčok štartér-generátora. Spracovávanie otáčok je realizované dvomi fázami. Sínusové signály PhU a PhV sú filtrované RC článkom a vstupujú do komparátora, ktorý ich transformuje na obdĺžnikový signál. Tento obdĺžnikový signál reprezentuje otáčky hriadeľa. Jeden z testov overí správnosť meraných otáčok.

Kontrola funkcie nadotáčkovej ochrany

Aby sa motor nedostal do nebezpečného pásma prevádzky, je nutné vyhodnotiť prekročenie maximálnych otáčok štartér-generátora. Nadotáčková ochrana je realizovaná pomocou nastaviteľného precízneho klopného obvodu, ktorý monitoruje otáčky a v prípade dosiahnutia nastaveného limitu aktivuje ochranné opatrenia čím chráni motor pred možným poškodením. Aktivácia nadotáčkovej ochrany musí byť v rozsahu od 3660 do 3674 Hz, čo predstavuje maximálne otáčky turbíny.

Spínanie palivových ventilov

Súčasťou zástavby motora je palivová nádrž s čerpadlami a palivovými ventilmi. Motor TJ40 pre funkciu používa 3 palivové ventily, ktoré sú ovládané modulom BEM. Ventily sú pripojené pomocou konektora na DPS BEMP, na ktorej sa nachádzajú výkonové tranzistory pre ich spínanie.

Overenie funkcie meniča

Riadiaca jednotka je vybavená meničom, ktorý dodáva napájanie pre palubnú sieť. Vyhodenie meniča môže byť v štyroch verziách na základe použitej batérie a to 12, 14, 25 a 28 V. Test musí vyhodnotiť, že menič dokáže regulovať napätie na stanovanú úroveň.

Štart sekvencia motora

Posledným z vykonávaných testov ktorý je potrebné uskutočniť je simulovanie štartu motora.

2.1.2 Testovacie prípady

Hardvérové testovacie prípady tvoria dokument, ktorý v bodoch určuje presný postup na vytvorenie testovacej procedúry. Je vytvorený pre konkrétne zariadenie, kde je popísaný set parametrov a prípadov, ktoré sú potrebné pre vytvorenie automatizovaného testovacieho zariadenia. Testovacie prípady majú za úlohu pokryť testy spojené s oživením DPS, ako aj funkčné testy, ktoré otestujú správnu funkciu zariadenia. Test vychádza z technickej špecifikácie zariadenia a musí byť navrhnutý tak, aby pokryl testovanú funkciu v celom rozsahu. Pre každú testovanú funkciu je vytvorený jeden test case. Testovacie prípady sú vo forme tabuľky, aby bol ich popis jasný a výstižný.

BEMP-TC-0009	Tranzistor Q5	[C1], [C2]	UGen K1 <8>; PHW K2 <2>	47 k Ω < R < 1 M Ω
BEMP-TC-0016	Čidlo meniča S1	[C1], [C2]	TempMen K5 <7>; GND	R = <1870; 2070> Ω

Tab. 2.1: Príklad testovacích prípadov

Každý testovací prípad sa skladá z označenia, aby bolo možné sa na neho v dokumentácii odkazovať. Napríklad TC-0001, obsahuje názov, alebo krátku slovnú informáciu o tom, aká funkcia zariadenia bude testovaná. Označenie T v obrázku

2.1 označuje, že sa jedná o test a N označuje vykonanie za normálnych podmienok. Nasleduje parameter, ktorý určuje podmienky, za akých bude test vykonávaný. Jedná sa o informácie, ktoré sú často spoločné pre viaceré testy a nemá zmysel ich pri každom TC vypisovať. Takže sa určia pre test setup, a následne je na nich len odkazované. Podmienky pozostávajú z informácií ako napríklad či sa má nachádzať testované zariadenie pod napätím, aké prípravky majú byť k nemu pripojené a podobne.

Ďalšou časťou, z ktorej sa TC skladá sú vstupy, ktoré definujú na ktorý bod na DPS, či už konektor alebo merací bod, je potrebné pripojiť TPR, aby bolo možné konkrétny test vykonať. Záverečným krokom, z ktorého sa testovacie prípady skladajú, je očakávaná hodnota, ktorú keď testovacie zariadenie po ukončení testu prečíta na vstupných kontaktoch, je test považovaný za splnený. Očakávaná hodnota obsahuje odchýlku alebo rozsah, v ktorej sa je možné pohybovať. Pokiaľ nie je dosiahnutá požadovaná hodnota, môže byť nariadená kalibrácia.

2.1.3 Testovacie procedúry

Aby bolo možné zariadenie správne otestovať, je potrebné ku každému testu pristupovať konzistentne. Testovacie procedúry vychádzajú z test case a jednotlivé prípady sú rozpísané takým spôsobom, aby bolo možné pri vytváraní SW pre TPR jasne nasledovať popis vytvorený v procedúrach, a to bez nutnosti znalosti hardvérovej časti riešenia testovacieho, či testovaného zariadenia. Procedúry popisujú celý testovací postup, definujú použité prístroje, určujú sekvenciu pripojenia a nastavenia jednotlivých prístrojov. V testovacích procedúrach je podrobne popísaná sekvencia testovania, ako aj predpísané vstupno-výstupné periférie, ktoré je potrebné použiť pre vykonanie daného testu. Nachádzajú sa tu aj vypísané presné registre zariadenia, ktoré sú potrebné pre overenie hodnoty, alebo prípadnú kalibráciu.

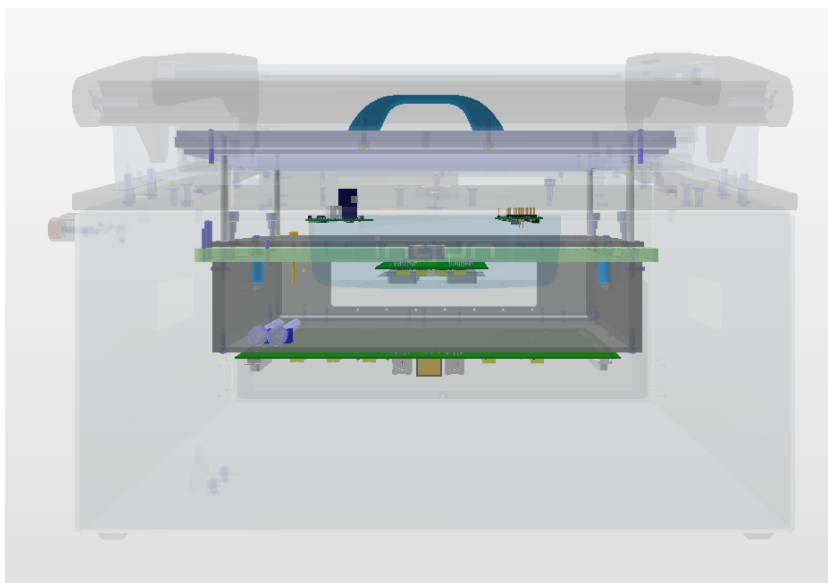
Test ID	BEMP-TC-0005
Název	Odpor tranzistoru Q1
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A2 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Nastavenie výstupu) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable) Počkať 10 sekúnd. Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == HIGH
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup A2 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)

Tab. 2.2: Príklad testovacej procedúry

3 Koncepčný návrh

V tejto kapitole je popísaný proces pri návrhu testovacieho zariadenia, ktorý vychádza z testovacích prípadov a testovacích procedúr popísaných v predchádzajúcich kapitolách a popisu architektúry zariadenia.

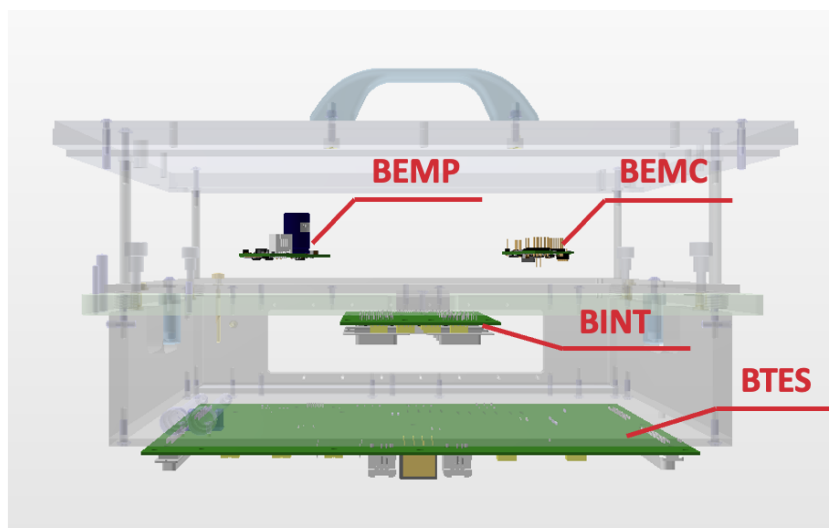
3.1 Zariadenie TJP1



Obr. 3.1: 3D model mechanickej testovacej fixtúry TJP1 [46]

Testovacie zariadenie TJP1, je jednoúčelové testovacie zariadenie pre testovanie modulu BEM riadiacej jednotky E040. Mechanická zástavba zariadenia pozostáva z manuálnej testovacej fixtúry od výrobcu Ingun do ktorej je vložená vymeniteľná kazeta. Zástavba je zobrazená na obrázku 3.1. Testované DPS sú uložené v hornej časti vymeniteľnej kazety ktorá je umiestnená v tele manuálnej testovacej fixtúry, odkiaľ sú signály DPS pripojené k testovaciemu zariadeniu skrz ihličkové pole.

Na obrázku 3.2 je zobrazený 3D model vymeniteľnej kazety spolu s testovanými a testovacími DPS. Testovacie zariadenie TJP1 sa skladá z dvoch dosiek plošných spojov BINT, ktorá slúži ako prepojovacia DPS pre signály BEMP a BEMC. Je umiestnená v prostriedku testovacej kazety aby bola dosiahnutá čo najmenšia dĺžka vodičov, ktoré budú testované DPS prepájať. Druhou DPS je BTES, do ktorej vchádzajú všetky signály testovaných DPS a vykonáva testovanie všetkých popísaných testovacích prípadov. Je otočená vrchnou stranou smerom dolu aby bol dobrý prístup ku komponentom a meracím bodom bez nutnosti odpojenia konektorov a zloženia



Obr. 3.2: 3D model vymeniteľnej kazety TJP1 [46]

DPS z fixtúry. Testovanie bude ovládané pomocou digitálnych a analógových kariet na zber dát. Prepojenie DPS vnútornou kabelážou je popísané v samostatnej kapitole.

3.1.1 Výber komponentov

Komponenty, ktoré sú použité v návrhu boli vybraté tak aby pokryli potreby funkcie zariadenia. Pre pasívne komponenty boli použité vo vysokej miere SMD komponenty. Rezistory boli použité z rady E12 s toleranciou 1 % až na výnimky kedy museli byť použité s vyššou presnosťou. Ako rozmer púzdra pre pasívne súčiastky bolo zvolené metrické 0805 ktorého rozmery v sústave jednotiek sú SI 2 x 1,25mm. Aktívne komponenty boli pri návrhu vybraté zo zavedených a schválených komponentov spoločnosti Unis a. s..

3.2 Popis návrhu schémy prepájacej DPS BINT

Testovanie zariadenia je rozdelené do dvoch častí, a aby bolo možné vykonať výrobné aj funkčné testy je potrebné v prvej časti testovania testovať DPS samostatne a následne ich navzájom prepojiť. Rozoberateľné prepojenie signálov počas testovania umožní testovanie funkčných blokov a v prípade odhalenia chyby na niektorej DPS je možné odstrániť chybu, ktorú by nebolo možné odstrániť pokiaľ by DPS boli pri testovaní prispájkované k sebe. Celkovo prepájaných signálov medzi DPS BEMP a BEMC je 30. Jedná sa o napätové úrovne, signály pre spínanie tranzistorov, jednotlivé napätia na fázach meniča a informácie o prúde a teplote meniča.

DPS BINT je navrhnutá tak, aby na prichádzajúci signál prepojila naraz všetkých 30 signálov. Na prepájanie signálov boli vybraté 12 V SMD relé od firmy Omron typ G6K-2F-Y-DC12 s nasledujúcimi parametrami. [47]

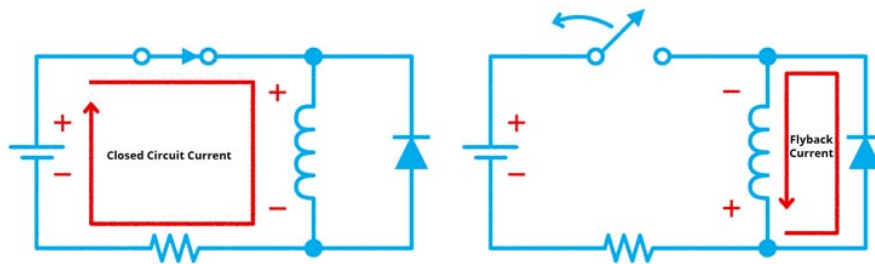


Obr. 3.3: Relé Omron G6K-2F-Y-DC12 [47]

Typ:	DPDT
Napätie cievky:	12 V
Odpor cievky:	1315 Ω
Prúd cievky:	9,12 mA
Max. prúd kontaktov:	1 A
Max. nespínaný prúd kontaktov:	2 A
Rozmery:	10 x 6,5 x 5,2 mm

Toto relé je vhodné pre použitie najmä kvôli jeho malým rozmerom, vďaka ktorým bude možné mať väčší počet relé vedľa seba a DPS si bude môcť zachovať menšie rozmery. Ďalšou výhodou je SMD puzdro, ktorého kontakty neprechádzajú skrz DPS a zostane tak viac miesta pre cesty na DPS, čo umožní použitie DPS s menším počtom vrstiev. Schématický návrh DPS BINT je navrhnutý v programe Altium Designer. Pozostáva z jedného dokumentu formátu A3 a skladá sa zo 7 konektorov, z toho 3 sú na každú z testovaných DPS. jedná sa o 15 pinový konektor D-Sub od firmy TBD typ TBD. Napriek tomu, že pripojenie jednej testovanej DPS vyžaduje len 30 pinov, a bolo by teda možné pripojenie pomocou dvoch 15 pinových konektorov. Riešenie s tromi konektormi bolo zvolené z dôvodu, že niektoré signály sú vysokofrekvenčné a môžu interferovať s ostatnými signálmi. Aby sa tejto interferencii predišlo, sú vysokofrekvenčné signály pripojené tak, že je vždy vynechaný nasledujúci pin. Keďže signály BEMP je potrebné prepojiť so signálmi BEMC, tak signály sú poprepájané tak, aby 1. pad 1. konektoru BEMP bol prepojený s 1. padom 1. konektoru BEMC. Ostatné signály nasledujú túto postupnosť

Siedmy konektor, ktorý sa nachádza na BINT je 37 pinový D-Sub konektor K1 od firmy TE Connectivity. Typ 5747301-7 pripája signály do DPS BTES, kde sú ďalej spracované na testovanie. Na DPS BINT pre účely ušetrenia miesta sa nenachádza zdroj napätia pre relé, ale je suplovaný z BTES a tiež prechádza konektorom K1, rovnako ako signál pre zopnutie relé. Na DPS sa nachádza 15 relé a každé z nich spína dva signály. Relé sú pripojené paralelne a ku každému relé je pripojená flyback dióda, ktorá je pripojená v opačnom smere prúdu, aby zamedzila napätovým špičkám generovaným pri odpojení relé od napájania, ktoré vznikajú keď je náhle odpojený prúd tečúci cievkou. Tieto diódy sú použité kôli tomu, aby sa predišlo poškodeniam spínacej elektroniky.



Obr. 3.4: Schématické zapojenie flyback diódy [48]

Tranzistor ktorý je použitý pre spínanie relé je od firmy Infineon typ IRLML0030TRPBF. Jeho maximálna prúdová zaťažiteľnosť je 5,3 A. Výpočet prúdu tranzistorom Q1 je v rovnici 3.1. [49]

$$I_{Q1} = n \cdot I_{REL} = 15 \cdot 9,12 \cdot 10^{-3} = 0,137A \quad (3.1)$$

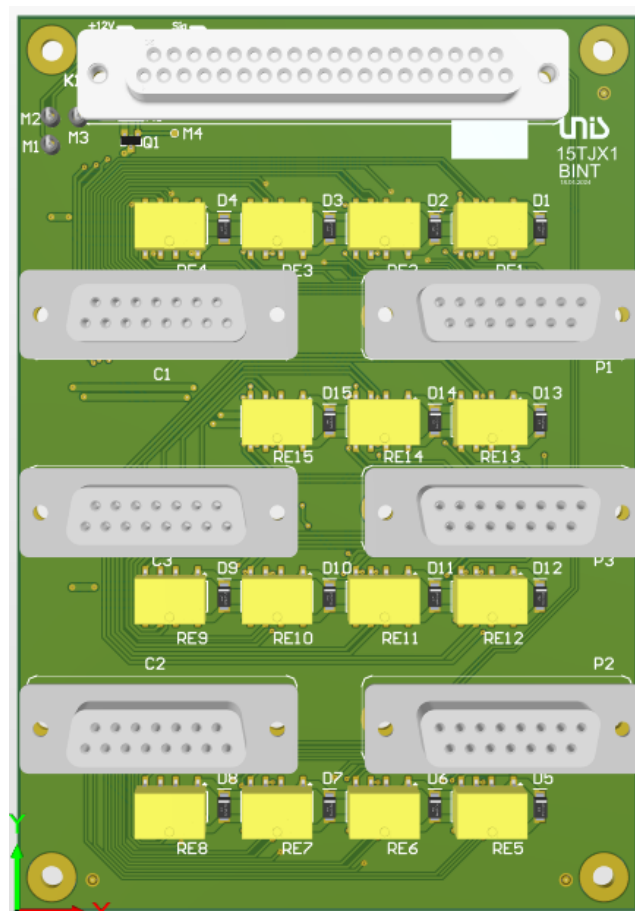
3.2.1 Návrh layout DPS BINT

Signály prepojovacej dosky boli nťahané na dvoj-vrstvej DPS s hrúbkou medi 35 μm . Konektory D-Sub majú prúdovú zaťažiteľnosť 1,5 A [50] a spínacie relé 2 A [47] v zopnutom stave. Z technickej špecifikácie vyplýva, že maximálne prúdové zaťaženie prepájaných signálov je 1 A [2]. Preto je šírka ciest dimenzovaná na 1 A a je vypočítaná podľa vzťahu v rovnici 3.2. [51]

$$w = \frac{\left(\frac{I}{k \cdot T_R^b}\right)^{\frac{1}{c}}}{t \cdot 1,378} = \frac{\left(\frac{1}{0,048 \cdot 10^{0,44}}\right)^{\frac{1}{0,725}}}{1 \cdot 1,378} = 11,828\text{mil} \Rightarrow 0,3\text{mm} \quad (3.2)$$

Kde w je požadovaná prúdová zaťažiteľnosť Konštanty a , b , k reprezentujú krivky podľa IPC-2221 a pre externé vrstvy majú hodnoty $k = 0,048$, $b = 0,44$, $c = 0,725$,

t je teplota okolia = 25 a T_r je predpokladané oteplenie – zvyčajne uvažované ako 10 stupňov. Hodnoty do vzorca je potrebné zadávať v imperiálnych jednotkách. Pre stanovené parametre bola vypočítaná šírka trasy na 0,3 mm, ku ktorej bola pripočítaná rezerva v hodnote 1/3 vypočítanej hodnoty. Celková šírka ciest je 0,4 mm, čo predstavuje dimenzovanie na 1,23 A. Vzdialenosti medzi cestami a plôškami konektorov vyplývajú z kapacít výrobcu a sú stanovené na 0,2 mm. Prechody medzi vrchnou a spodnou vrstvou sú pomocou prekovených dier tzv. via. Na prepájacej DPS BINT sa nachádzajú 3 meracie body ktorými je možné v prípade potreby preniesť signál do testovacej DPS BTES.



Obr. 3.5: 3D model DPS BINT

4 Popis návrhu schémy BTES

V tejto kapitole je popísaný návrh schémy BTES pre testovacie zariadenie. Ďalej budú popísané postupy pri implementácii testovacích procedúr, a budú tiež popísané navrhované riešenia podložené výpočtami a simuláciami.

4.1 MCC USB-231: Multifunction USB DAQ Devices



Obr. 4.1: Karta MCC USB-231 [54]

Jedná sa o meraciu kartu, ktorá kombinuje meranie analógových vstupov, nastavovanie a čítanie vstupno-výstupných signálov a nastavovanie analógových výstupov. Disponuje 8 analógovými vstupmi, ktoré môžu byť použité aj ako 4 diferenciálne, 8 digitálnymi vstupno-výstupnými portami a dvomi analógovými výstupmi. Kartu je možné ovládať po USB porte z počítača a je možné ju ovládať knižnicami vytvorenými pre programovacie jazyky LabView alebo Python. Karta MCC USB-231 má nasledovné parametre. [54]

Analógové vstupy:

Rozsah vstupného napätia:	$\pm 10\text{ V}$
Rozlíšenie A/D prevodníka:	16 bitov
Rýchlosť vzorkovania:	50 kS/s (6,25 kS/s pri používaní 8 A-in)
Vstupná impedancia:	$>1\text{ G}\Omega$
Presnosť v celom rozsahu:	6 mV

Analógové výstupy:

Rozsah výstupného napätia:	$\pm 10\text{ V}$
Rozlíšenie A/D prevodníka:	16 bitov
Typická presnosť na celom rozsahu:	8,6 mV)

Výstupný prúd:	$>1 \pm 5 \text{ mA}$
Digitálne vstupno-výstupné porty:	
Typ portu:	8x konfigurovateľné I/O
Maximálne napätie digitálneho vstupu:	5 V (pri zapnutom napájaní)
Maximálne napätie digitálneho výstupu:	3,6 V)
Pulldown rezistor:	interný 47,5 k Ω

4.2 MCC USB-1024LS: 24 Channel Digital I/O USB Devices



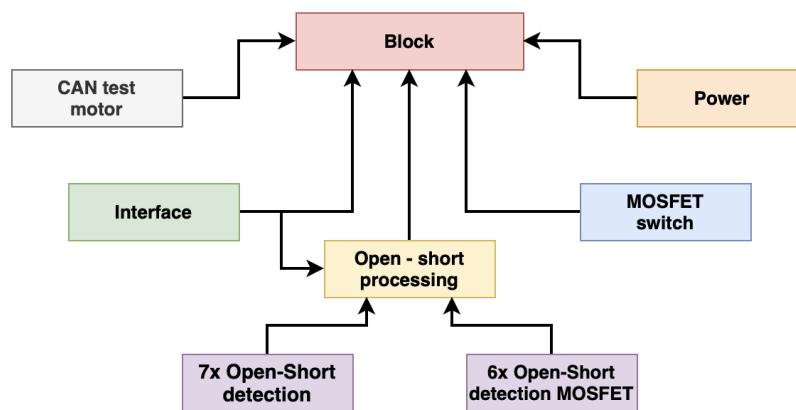
Obr. 4.2: Karta MCC USB-1024LS [55]

Digitálna karta USB-1024LS od firmy MCC disponuje konfigurovateľnými 24 portami, ktoré je možné ovládať po USB porte z počítača a umožňuje programovanie v LabView alebo Python. Digitálna karta má nasledujúce parametre. [55]

Počet digitálnych I/O:	3 kanály po 8 digitaálnych I/O
Napätie digitálneho výstupu:	5 V
Max. prúd dig. Výstupu	2,5 mA)
Napájanie:	interný 5 V – USB
Napájanie: up/pull-down	interný 47,5 k Ω HW konfigurovateľný pull-

4.2.1 Architektúra DPS BTES

Schématický návrh DPS sa skladá z hlavnej stránky s názvom Block, v ktorej sa nachádzajú implementácie všetkých procedúr, potrebné napájacie napätia pre funkciu testovacieho zariadenia, ďalej obsahuje rozhranie pre pripojenie testovaných DPS a testovacích kariet, návrh spínania relé. Pre prehľadnosť návrhu bola pri navrhovaní využitá funkcia Altium Designer, ktorá umožňuje vytvorenie bloku, ktorý je možné vložiť do schémy pomocou vstupno-výstupných portov a ďalej ich pripájať v rámci schémy. Toto hierarchické usporiadanie umožňuje sprehľadnenie návrhu a možnosť kopírovania blokov s rovnakou funkciou. V ďalších kapitolách sú popísané jednotlivé schématické bloky. Na obrázku 4.3 je zobrazený hlavný signálový tok medzi jednotlivými schémami. Pre zjednodušenie zobrazenia sú zanedbané samostatné signály a globálne značky pre napätové úrovne.



Obr. 4.3: Hierarchické zobrazenie schémy BTES

4.2.2 Blok Interface: Rozhranie pre pripojenie zariadení.

Signály DPS BEMP a BEMC sú do testovacej DPS BTES pripojené pomocou dvoch konektorov K1 a K2. Jedná sa o 37 pinové DSUB konektory. K1 prepája signály ktoré sú prepájané DPS BINT. Do K2 sú pripojené signály, ktoré neprechádzajú BINT, ale sú nevyhnutné pre testovacie potreby. Konektorom K1 je tiež vedený signál, ktorý spína BINT spolu s napájaním. Signály s jednotlivých DPS sú následne roztriedené do zväzkov, odkiaľ sú ďalej používané v schéme.

Skladá sa zo zväzkov:

BEMC	Napätové hladiny BEMC a spínanie signálov.
BEMP	Signály DPS BEMP.

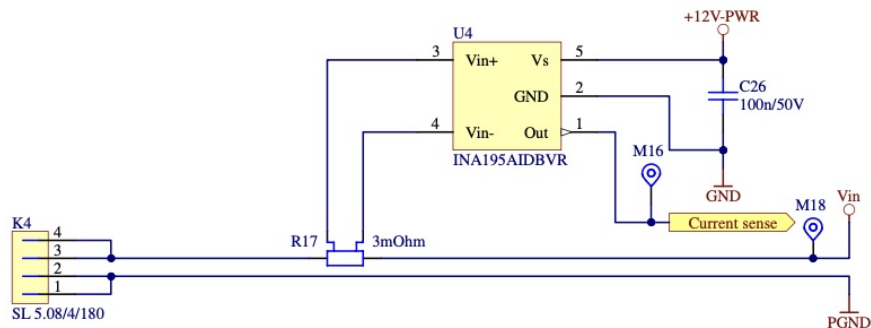
BEMP_SW	Signály pre spínanie MOSFET.
BEMP_VENTIL	Pripojenie palivových ventilov.

Signály sú ďalej značené štýlom KX_Y, kde K označuje, že sa jedná o konektor, X označuje číslo konektora a Y označuje pin konektora. Druhá možnosť je označenie PX, kde P označuje pad a X označuje číslo padu. V prípade, že sa jedná o signály, pri ktorých je predpoklad, že by mohli spôsobovať rušenie iných signálov, sú tieto signály pripojené tak, že za každým pripojeným signálom je vynechaný nasledujúci pin. Tieto piny sú ďalej pripojené na tienenie konektora.

4.2.3 Blok Power: Zdroje potrebné pre funkciu zariadenia.

Táto schéma zoskupuje všetky komponenty, ktoré vytvárajú napájanie potrebné pre funkciu testovacieho zariadenia. Jedná sa o pripojenie zdroja, ktorý napája riadiacu jednotku, 5 V zdroj pre napájanie testovania skratov a rozpojenia, 5 V zdroj pre napájanie logických obvodov, referencia pre komparátory 5 V a 1 V, prúdové zdroje 10 mA pre overenie priechodnosti zbernice CAN, zdroj pre simuláciu napätí pre termočlánok a 12 V napájanie DPS BTES a BINT.

Napájanie jednotky



Obr. 4.4: Schématické zapojenie napájania jednotky

Z technickej špecifikácie jednotky E040 vyplýva, že napájanie modulu BEM je v rozsahu 12 až 28 V s prúdom 0 – 30 A. Pripojenie externého zdroja pre napájanie jednotky bude realizované pomocou konektor K4 Weidmuller SL 5.08/4/180 [53] ktorého jeden pin znesie záťaž v hodnote 17 A. V sérii s napájacím napätím je zapojený 3 mΩ bočník, ktorého úbytok napätia je využívaný na meranie prúdu tečúceho do jednotky. Podľa znalosti veľkosti prúdu a odporu bočníka je možné určiť rozsah napätia, ktoré je úmerné pretekajúcemu prúdu. Naximálne napätie na bočníku je určené vzorcom 4.1. [2]

$$U_{SHUNT} = I_J \cdot R_{SHUNT} = 30 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 0,09V \quad (4.1)$$

Rozsah napätia potrebného pre určenie prúdu tečúceho do jednotky je teda 0 – 0,09 V. Meranie takto malého napätia priamo kartou MCC USB-231 by bolo veľmi nepresné, preto je potrebné použiť presný zosilňovač. Ako zosilňovač bol použitý diferenciálny monitor prúdového bočníka od firmy Texas Instruments INA195AIDBVR [52], so zosilnením 100 V/V. Rozsah meraného prúdu bude po použití zosilňovača úmerný napätiu 0 – 9 V. Z datasheetu vyplýva, že maximálna chyba zosilnenia je 1 %. Typicky je to však 0,2 %. Presnosť bočníka je rovnako maximálne 1 %. Výpočet chyby merania prúdu pre najhorší možný prípad popisuje vzorec 4.2.

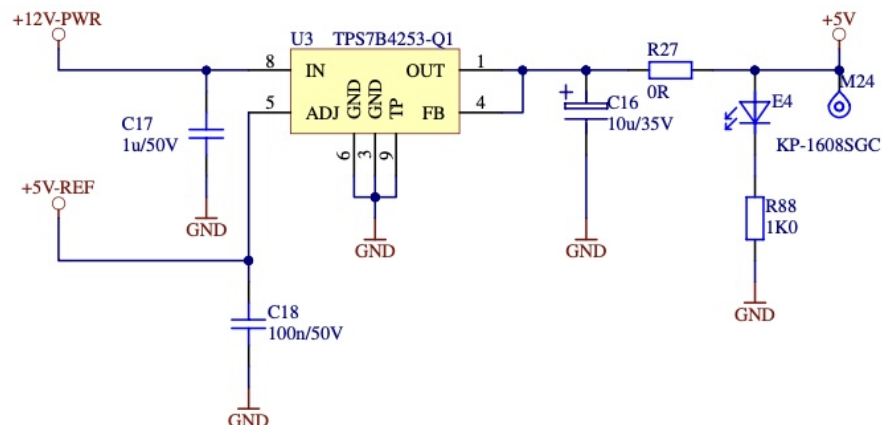
Parametre výpočtu:

Odpor bočníku:	3,03 m Ω
Maximálne zosilnenie zosilňovača:	101 V/V
Prúd tečúci bočníkom: I_{SW}	2A.

$$U_{MAX} = I_J \cdot R_{MAX} = 2 \cdot 3,03 \cdot 10^{-3} = 0,612V \quad (4.2)$$

Zo spätného výpočtu vyplýva že jednotka by merala prúd 2,04 A. Chyba merania prúdu do jednotky je na úrovni 2 %, čo je pre potreby testovania akceptovateľné. Zapojenie vychádza podľa odporúčaného zapojenia od výrobcu, napájané z 12 V. Pri napájaciach pinoch je umiestnený odrušovací kondenzátor 100 nF.

Zdroj 5 V



Obr. 4.5: Schématické zapojenie zdroju 5 V

Zdroj 5 voltového napätia je používaný ako zdroj pre napájanie testovania skratov napätových hladín a MOSFET. Napriek tomu že pri testovaní nebude výkon zdroja

využívaný v maximálnej miere, je dôležité dodržať oddelenie zdroja testovacej časti od zdroja napájania komponentov. Ako zdroj je použitý presný LDO TPS7B4253-Q1 od firmy Texas Instruments. LDO dokáže dodať do obvodu regulované napätie v rozsahu -1 až 45 V s maximálnym prúdovým zaťažením 300 mA. Na vstup LDO je pripojená napäťová vetva +12V-PWR, ktorá slúži na napájanie DPS BTES. Zdroj TPS7B4253-Q1 dokáže vďaka spätno-väzobnému riadeniu dosiahnuť napätie na v rozsahu ± 4 mV od požadovaného napätia. Nastavenie výstupného napätia je pomocou výstupu 5 V referencie REF5050, ku ktorému je pripojený paralelne odrušovacím kondenzátorom 100 nF. Veľkosť prúdu, ktorý je potrebný pre nastavenie výstupného napätia je 5,5 μ A, preto je možné vstup pripojiť priamo na výstup referencie bez použitia napäťového sledovača. Maximálna prúdová zaťažiteľnosť referencie je 10 mA. Pre stabilitu obvodu je pridaný kondenzátor 10 μ F. Pri testovaní skratov bude odoberaný prúd v hodnote 0,5 mA pre každý testovaný obvod. Celkový maximálny prúdový odber je stanovený počtom testovaných vetiev vynásobených prúdom na úrovni 0,009 A. Aby bolo zaručené že sa zdroj pri používaní neprehreje, je potrebné vypočítať jeho oteplenie. Oteplenie zdroja sa vypočíta na základe stratového výkonu podľa vzťahu 4.3 kde U_{DIV} je úbytok napätia na zdroji, R_{J-A} je teplotný odpor medzi púzdom a okolím (pre TPS7B4253-Q1 je 45,4 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$) T_A je teplota okolia uvažovaná 25 $^{\circ}\text{C}$. [56] [58]

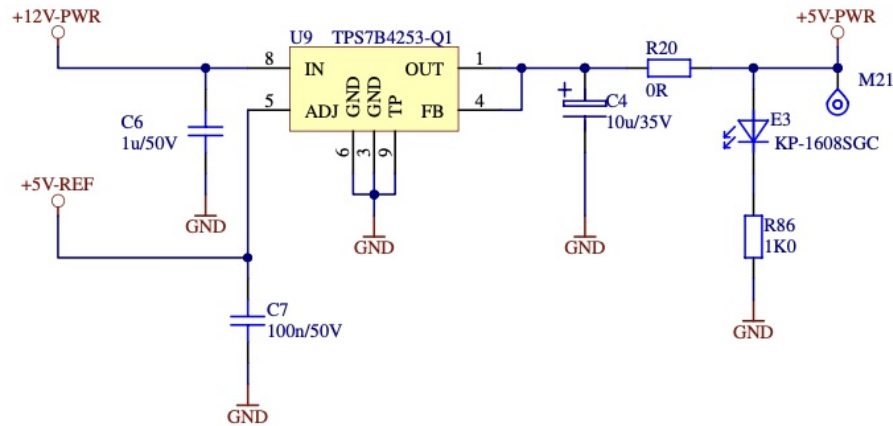
$$T = T_A + U_{DIV} \cdot I * R_{J-A} = 25 + (12 - 5) \cdot 0,009 \cdot 45,4 = 27,86^{\circ}\text{C} \quad (4.3)$$

Nulový rezistor v sérii výstupného napätia je z dôvodu možnosti odpojenia zdroja od napájanej vetvy. Ako signalizácia funkcie zdroja je pripojená zelená LED KP-1608SSGG ktorá má na PN prechode úbytok napätia 2 V. Prúd tečúci LED bol limitovaný na 3 mA podľa vzťahu [57]

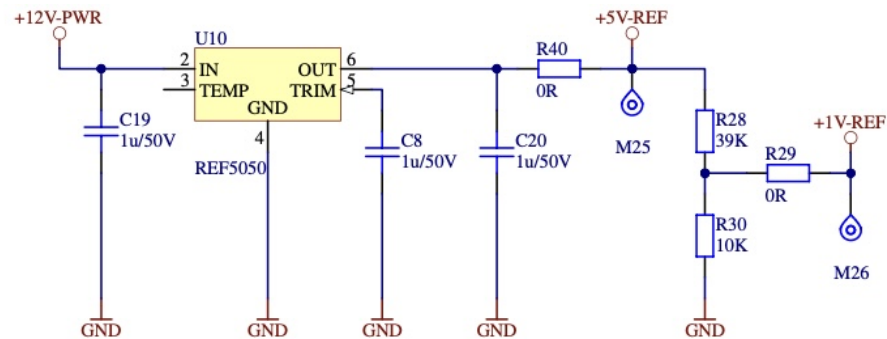
$$I_{LED} = \frac{U_{DIV}}{I_{LED}} = \frac{(5 - 2)}{1000} = 0,003\text{A} \quad (4.4)$$

Zdroj 5V-PWR

Zdroj 5V – PWR slúži na napájanie komparátorov, multiplexorov a logických obvodov. Keďže sa jedná o rovnaký zdroj TPS7B4253-Q1, tak aj úvaha nad zapojením je rovnaká ako v predchádzajúcej kapitole [56]. V obvode sa nenachádzajú žiadne výkonové komponenty, preto je predpokladaný veľmi nízky prúdový odber, a preto je možné výpočet oteplenia zanedbať.



Obr. 4.6: Schématické zapojenie zdroju 5V-PWR



Obr. 4.7: Schématické zapojenie napätovej referencie

Napätové referencie

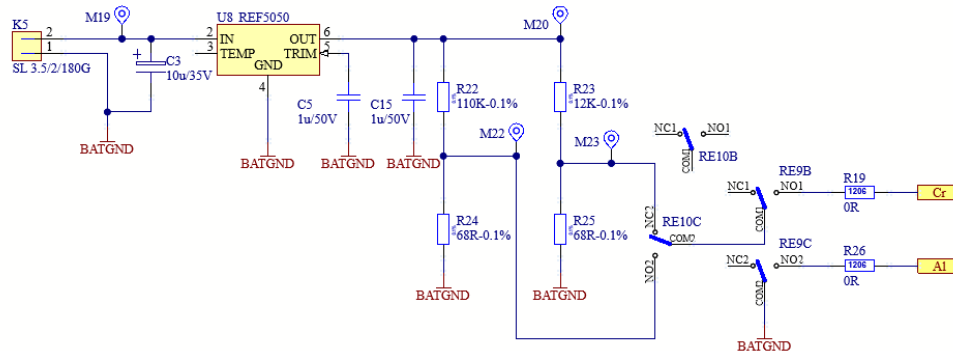
Pri vyhodnocovaní skratov MOSFET a napätových úrovní, ktorých princíp bude popísaný v ďalších kapitolách, je potrebná stabilná a presná rozhodovacia napätová úroveň. Pre toto použitie bola zvolená úroveň 5 V a 1 V ktoré budú dosiahnuté napätovou referenciou REF5050 [58]. REF5050 je presná napätová referencia, ktorá zo vstupného napätia -0,2 – 18 V generuje stabilné výstupné napätie 5 V s presnosťou 0,05 %. Maximálna zaťažiteľnosť tohto obvodu je 0,01 A, čo dostatočne pokryje rozhodovacu úroveň komparátorov. Referencia bola zapojená podľa doporučeného zapojenia od výrobcu Texas Instruments, na výstup bol pridaný kondenzátor 1 μF aby bola dosiahnutá stabilita obvodu. Presným napätovým deličom je následne vytvorené napätie 1,02 V podľa vzorca 4.5.

$$U_{OUT} = U_{IN} \cdot \frac{R30}{R28 + R30} = 5 \cdot \frac{10000}{49000} = 1,02V \quad (4.5)$$

Celkové uvažované zaťaženie obvodu 0,01 A pri tepelnom odpore 115 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$

dosiahne REF5050 v puzdre SOIC-8 maximálnu teplotu podľa vzorca 4.3 33,05 °C.

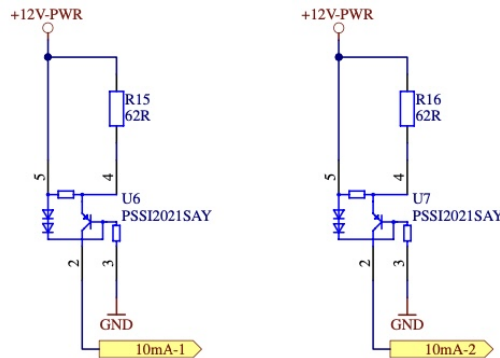
Napájanie pre simuláciu termočlánkov



Obr. 4.8: Schématické zapojenie zdroju pre simuláciu termočlánkov

Termočlánok pripojený k jednotke generuje napätia na úrovni jednotiek až desiatok milivoltov. Konkrétne sa jedná o hodnotu -6,458 mV pre -270 °C až 54,819 mV pre teplotu 1370 °C. Z technickej špecifikácie vyplýva, že riadiaca jednotka dokáže merať teploty termočlánkom v rozsahu -60 až 1140 °C. Napätové úrovne budú simulovať termočlánok a je potrebné aby boli presné a stabilné, nevyžadujú však pre svoju funkciu veľké množstvo prúdu. Ďalším dôležitým aspektom návrhu simulácie termočlánku je úplná izolácia napätového zdroja, aby nedošlo k ovplyvňovaniu generovaných napätí. Preto bola pre túto funkciu zvolená napätová referencia REF5050 [58], ktorá bude napájaná 12 V batériou, ktorá zaistí, že nebude dochádzať k väzbeniu napätových úrovní. Referencia bude v rovnakom zapojení ako v predchádzajúcej kapitole. Zo stabilných 5 V na výstupe referencie bude napätie zrazené pomocou napätových deličov na požadované hodnoty. Pre simulovanie hodnoty 70 °C bola zvolená kombinácia presných rezistorov s toleranciou 0,1 %, 110 k Ω a 68 Ω . Simulované napätie je potom podľa vzťahu 4.5 0,003089 V, čo najbližšie zodpovedá hodnote 75 °C. Pre druhú hranicu bola zvolená kombinácia presných rezistorov 12 k Ω a 68 Ω z ktorých bude simulované napätie podľa vzťahu 4.5 na úrovni 0,02817 V čo predstavuje simulovanú teplotu 667 °C. Keďže sa jedná o teoretické hodnoty teplôt a malá výchylka napätia môže spôsobiť zmenu meranej teploty o desiatky stupňov, bude potrebné napätia kalibrovať a upraviť testovacie procedúry tak, aby zodpovedali reálnemu stavu. Zo schémy zapojenia DPS BEMC do ktorej sa pripája meranie termočlánkov vyplýva, že vstup napätia termočlánku je pripojený na operačný zosilňovač. Takýto vstup je možné považovať za vysoko-impedančný, preto prúdový odber z REF5050 je možné považovať za zanedbateľný. Z rovnakého dôvodu je možné zanedbať aj výpočet oteplenia.

Prúdový zdroj



Obr. 4.9: Schématické zapojenie prúdových zdrojov

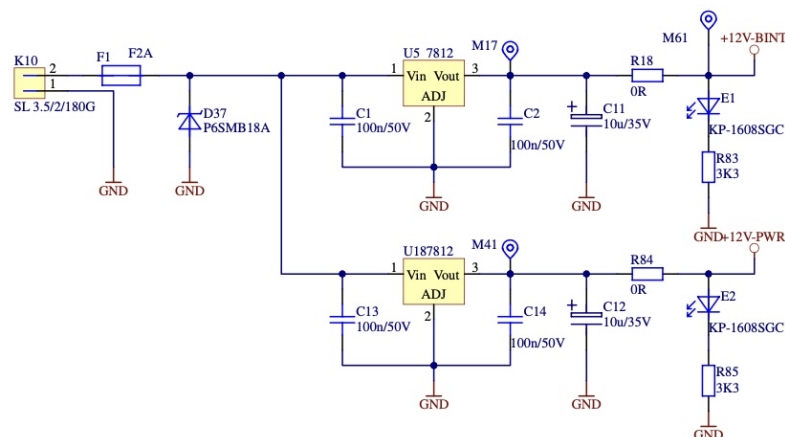
Pre účely určenia priechodnosti ochrany CAN na DPS BEMP budú potrebné 2 prúdové zdroje. Jeden pre signál CAN H a druhý pre signál CAN L. Presný popis testovania zbernice bude popísaný v príslušnej kapitole. Ako zdroj prúdu bol vybratý presný nastaviteľný prúdový zdroj PSS12021SAY [59] od firmy Nexperia ktorý zo vstupného napätia až 75 V dodáva stabilizovaný prúd v rozsahu 15 μ F – 50 mA v závislosti od použitého externého rezistoru. Vzťah pre výpočet externého rezistoru vychádza zo vzťahu 4.6

$$R_{EXT} = \frac{0,617}{I_{OUT} - 15 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,617}{0,01 - 15 \cdot 10^{-6}} = 61,79\Omega \quad (4.6)$$

Z toho vyplýva najbližšia vyššia hodnota rezistora 62 Ω . Rezistor je pripojený medzi napájacie napätie 12V-PWR a pin č. 4. Prúdový zdroj dodáva do obvodu konštantných 10 mA, v prípade že bude zbernica CAN v skrate, bude úbytok napätia na zdroji prúdu blízky napájaciemu napätiu 12 V. Teplotný odpor medzi puzdrom a okolím je 370 K/W. Z toho vyplýva že maximálne oteplenie puzdra SOT-353 bude podľa vzorca 4.3 36,62 $^{\circ}$ C.

Napájanie TPR

Testovacie zariadenie bude napájané z externého stabilizovaného zdroja 14 V 3 A pripojený cez konektor SL 3.5/2/180G. Zdroj bude nastavovaný obsluhou testovania. Ako zdroje napájacieho napätia sú použité stabilizátory napätia L7812 [60] v puzdre TO220, aby bolo možné v prípade potreby pripojiť chladič a odvieť prebytočné teplo. Zdroje 12 voltového napätia pre prepájajú DPS BINT a BTES sú použité primárne preto, aby v prípade nastavenia vyššieho napätia na zdroji nedošlo



Obr. 4.10: Schématické zapojenie zdrojov pre napájanie jednotky

k poškodeniu testovacieho zariadenia. Z datasheetu vyplýva, že maximálne napätie na vstupe L7812 môže byť až 35 V, preto je paralelne ku vstupu pripojený tranzil P6SMB18A, ktorý sa v prípade dosiahnutia v rozsahu 17,1 – 18,9 V otvorí a skratuje tak pozitívny pól s negatívnym pólom zdroja. To spôsobí prehorenie 2 A poistky a rozpojenie obvodu. Príslušné LED potom signalizujú stav zdrojov. V predchádzajúcej kapitole bol vypočítaný prúd, ktorý je potrebný pre napájanie relé BINT, ktorý je na úrovni 0,137 A. Úbytok napätia stabilizátora L7812 sú 2 V a teplotný odpor medzi puzdrom a okolím je 50 °C/W. Zo znalostí týchto parametrov je možné podľa vzorca pre výpočet oteplenia vypočítať celkové oteplenie L7812 pre BINT. Výpočet maximálnej teploty puzdra je podľa vzťahu 4.3 pre celkový prúd tečúci prúd stabilizátorom na hodnote 38,7 °C. Druhý stabilizátor v obvode bude dodávať napájanie pre testovaciu DPS BTES a celkový prúd je stanovený ako súčet všetkých odberov v obvode.

Zariadenie	Max. prúdový odber(A)	Počet	Celkový odber(A)
Relé G6K-2F-Y-DC12	0,00912	48	0,4377
Relé G2RL-14-E-CF-DC12	0,03333	5	0,16665
Prúdový zdroj PSSI2021SAY	0,01	2	0,02
Napätiová referencia REF5050	0,01	1	0,01
Celkový max. prúdový odber			0,63435

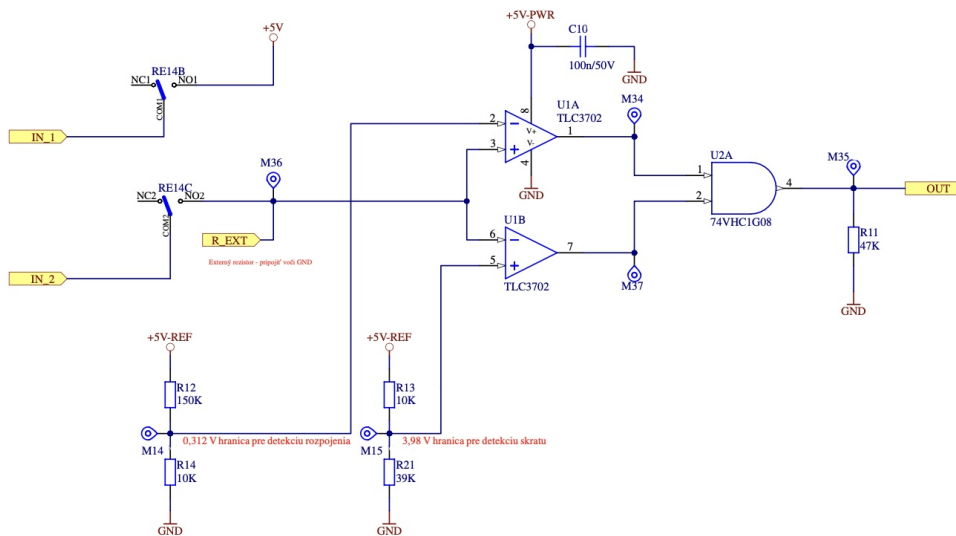
Tab. 4.1: Tabuľka najväčších prúdových odberov komponentov zariadenia BTES

Vypočítaný prúd maximálny je teoretický maximálny prúd, ktorý by DPS BTES potrebovala na funkciu v prípade ,že by boli zopnuté všetky relé a maximálne zaťažené všetky zdroje. Maximálne oteplenie napätového stabilizátora by bolo podľa

vzťahu 4.3 by bolo 88,435 °C. K takémuto stavu sa za bežných okolností zariadenie nikdy nedostane. K uvažovanému najvyššiemu odberu bude dochádzať pri funkčnom teste točenia motora, kde je predpokladaný maximálny odber do 0,3 A. Z toho vyplýva praktické maximálne oteplenie 55 °C.[60]

4.2.4 Blok Open-short detection

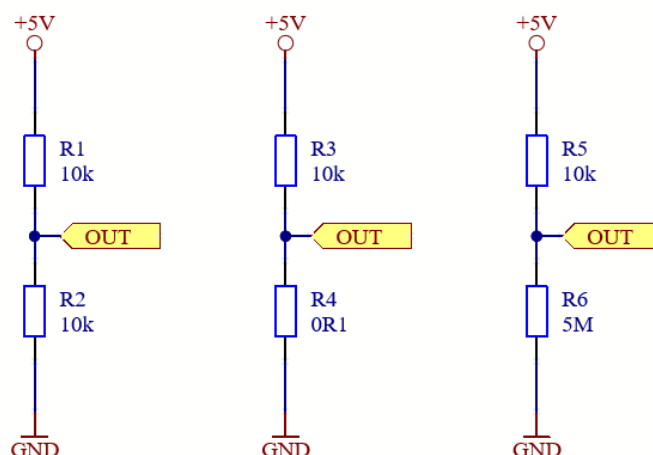
V tejto kapitole je popísaný návrh obvodu na detekciu skratu a rozpojenia napätových ciest.



Obr. 4.11: Schématické zapojenie obvodu na detekciu skratu napätových ciest

Jednou z testovacích procedúr je overenie skratu a rozpojenia napätových ciest. Tieto procedúry sa vykonávajú 3 krát pre DPS BEMC a 4 krát pre DPS BEMP. Účelom týchto testov je rozpoznať stav napätových ciest ešte predtým ako bude na DPS pripojené napätie. Ak sa DPS nachádza v stave bez napätia, je možné napätovú cestu zjednodušiť na obvod pozostávajúci z jedného rezistora. Keďže hlavným účelom týchto testov je odhalenie skratu, ktorý vznikol pri manipulácii DPS, je možné pri testovaní zanedbať kapacitnú a induktívnu zložku impedancie napätovej cesty. Pri takejto úvahe je možné vytvoriť napätový delič, ktorého výstup bude možné ďalej spracovávať.

Pre príklad č.1 na obrázku 4.12: napätová cesta reprezentovaná rezistorom R2 má hodnotu odporu 10 k Ω , rezistor R1 má hodnotu odporu rovnako 10 k Ω a napätový delič je napájaný z 5 V. V tomto prípade je výstup napätového deliča podľa vzťahu 4.5 2,5 V. V druhom prípade sa jedná o skrat a odpor meranej cesty reprezentovaný R4 je blízky 0 Ω a je uvažovaná hodnota 0,1 Ω . V takomto prípade je napätie podľa vzťahu 4.5 4,99 V. Teda výstupné napätie sa blíži k 5 V. V treťom prípade je niektorý

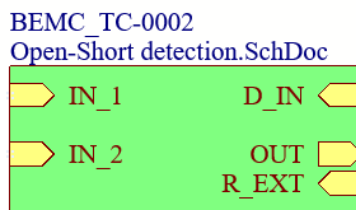


Obr. 4.12: Ukážka zapojenia napätových deličov

z komponentov v napätovej vetve neprispájkovany a napätová cesta sa nachádza v rozpojenom stave. V tomto prípade je uvažovaný odpor reprezentovaný R6 5 M Ω . Výstupné napätie je podľa vzťahu 4.5 0,0019 V. Rezistory R1, R3, R5 zaisťujú aj to, že v prípade skratovanej napätovej cesty, nebude napájací zdroj skratovaný. Na základe odporu uvažovaných napätových vetiev, je potrebné pre každú z nich vypočítať konkrétne hodnoty odporu pre napätový delič.

Spracovanie napätia

Napätie z jednotlivých testovacích procedúr je potrebné spracovať. Najefektívnejším spôsobom by bolo meranie pomocou analógovej karty. Analógová karta MCC USB-231 má však len 8 analógových vstupov a bude potrebné spracovať 7 napätí. Spracovanie viacerých napätí by bolo možné analógovým multiplexorom, ktorý by však mohol mať nepriaznivý vplyv na meraný signál. Ďalším z dôvodov prečo v návrhu nebol použitý návrh s priamym meraním signálu je nabíjanie kapacít na DPS BEMP. Kapacity sa po pri pripojení meracieho napätia začali nabíjať a vzhľadom na obmedzený prúd bolo nutné čakať na ustálenú hodnotu niekoľko desiatok sekúnd. Preto je riešenie vyhodnocovania rozsahu napätia prevedené na digitálny signál, ktorý dokáže vplyv nabíjania kapacít pri testovaní zamaskovať. Výsledkom je informácia o tom, že sa konkrétna napätová úroveň nenachádza v skratovanom, alebo rozpojenom stave. Na obrázku 4.13 je zobrazený blok, ktorý je vytvorený zo schémy a ďalej používaný v ďalších schémach.



Obr. 4.13: Ukážka bloku schémy Open-short detection

Princíp funkcie

V počiatočnom stave keď nie je pripojený testovaný obvod, je na meracom bode M36 0V, čo je menej ako potrebných 0,312 V pre zopnutie výstupu U1A. Na vstupe U1B je tiež 0 V a zároveň platí že 0 V je menej ako 3,98 V. Takže komparátor je v zopnutom stave. Keďže sa na oboch vstupoch obvodu AND U2A nenachádza logická 1, výstupom je 0 V. Obvod detekuje rozpojenie, čo je pravda, pretože testovaný obvod nie je pripojený. Po privedení signálu na D_IN zopne MOSFET typu N relé a pripojí tak testovanú napäťovú cestu. V prípade, že bude cesta skratovaná na meracom bode M36 bude 5 V. 5 V je viac ako potrebných 0,312 V pre zopnutie U1A, takže výstupom na M34 bude logická 1. Na vstupe komparátora U1B je tiež 5 V, to je však viac ako maximálna úroveň 3,98 V, ktorá drží obvod zopnutý, takže na M37 bude 0 V. Na vstupoch obvodu AND sa opäť nachádza len jedna logická 1, takže výstupom je rovnako 0 V. Tretí prípad, ktorý môže nastať je, keď po pripojení testovaného obvodu bude tiecť prúd napäťovým deličom a na meracom bode M36 sa objaví napätie, ktoré je v rozsahu od 0,312 do 3,98 V. To zapríčini, že komparátor U1A zostane v zopnutom stave a komparátor U1B sa preklolí do zopnutého stavu. Obe tieto logické 1 spôsobia na vstupe U2A preklópenie výstupu do stavu logickej 1. Rezistory použité pre konkrétne napäťové deliče boli určené z experimentálnych meraní tak, aby napätia ktoré budú výstupom napäťového deliča sa nachádzali v strednej časti rozsahu 5 V.

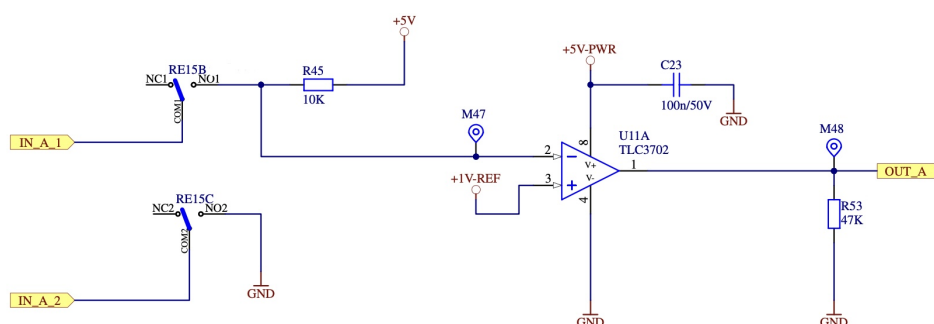
Hodnoty napätia 0,312 V a 3,98 boli následne určené preto, aby výstupné napätia z napäťového deliča boli pokryté v dostatočnom rozsahu. Vyhodnocovacie hodnoty napätia je možné pri oživovaní upraviť deličmi napätia tak, aby presne vyhovovali pre konkrétnu napäťovú vetvu. Komparátor TLC3702 je typu push-pull, preto nieje nutné použiť pull-up rezistory na výstupe.

4.2.5 Blok Open-short detection MOSFET

V tejto kapitole je popísaný návrh obvodu na detekciu skratu a funkcie MOSFET

DPS	Napätová vetva	Rezistor (Ω)
BEMP	Ugen	47k
BEMP	Usup	510
BEMP	3V3	510
BEMP	10V	510
BEMC	5V	510
BEMC	3V3	510
BEMC	10V	20k

Tab. 4.2: Tabuľka rezistorov pripojených k jednotlivým blokom



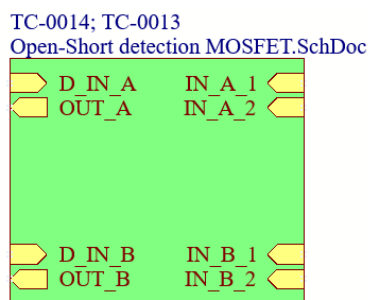
Obr. 4.14: Schématické zapojenie obvodu na detekciu skratu a funkcie MOSFET

Na DPS BEMP sa nachádza 12 výkonových MOSFET, ktorých funkciu je potrebné overiť pred pripojením DPS na napájanie. MOSFET vo vypnutom stave predstavuje prekážku pre prúd, ktorý by za iných okolností tiekol obvodom. Tento jav sa dá využiť na overenie, že vývody drain a source MOSFETu nie sú skratované. V prípade, že je toto tvrdenie správne, ešte neznamená, že komponent je schopný vykonávať svoju funkciu. Jednou z ďalších častých chýb, ktoré môžu nastať, je poškodenie budiča, ktoré má veľký význam na fungovanie MOSFET.

Návrh testovania

Testovanie bude rovnako ako predchádzajúcim prípade vyhodnocované digitálne. Výstupom testu bude informácia o tom, že tranzistor sa nenachádza v skrate a zároveň že funguje MOSFET a budič. Pripojenie tranzistora k meranému napätiu bude pomocou relé cez príslušné signály, ktoré sú vyvedené na konektoroch testovaných DPS. K testovanému obvodu sa MOSFET pripojí na signály IN_A_1 a IN_A_2.

V počiatočnom stave je komparátor zopnutý a na meracom bode M47 je 5 V, pretože nie je detekovaný skrat. Po pripojení začne do testovaného obvodu tiecť



Obr. 4.15: Ukážka bloku schémy Open-short detection MOSFET

prúd cez rezistor R45. V prípade že MOSFET nie je skratovaný, prúd ďalej tiecť nebude a na meracom bode M47 bude znova napätie 5V. Digitálna karta v tomto okamihu zaznamená výsledok a cez budič bude zopnutý príslušný MOSFET. Keď bude MOSFET zopnutý, začne ním tiecť prúd, ktorý sa uzavrie v GND TPR. Na meracom bode M47 bude v tomto momente 0 V, čo je menej ako 1 V referenčnej úrovne. Digitálna karta znova vyčíta výstup. V prípade že je výsledok dvoch meraní logická 1 a logická 0 v tomto poradí, test bude prehlásený za úspešný.

4.2.6 Blok Open-short processing: Spracovanie výsledkov skratov a rozpojení

Pri testovaní sa bude vyhodnocovať celkovo 18 obvodov na skrat a rozpojenie. To predstavuje 18 signálov ktoré reprezentujú stav vyhodnocovaných obvodov. Schémy z predchádzajúcich kapitol boli pomocou Altium Designer funkcie „Create Sheet Symbol From Sheet“ premenené na bloky, ktoré reprezentujú konkrétne schémy. K blokom sa je možné pripojiť pomocou vstupno-výstupných portov. Použitie blokov sprehradňuje schematický návrh a následne zjednodušuje layout, keďže rozloženie komponentov v blokoch je možné kopírovať.

Implementácia testovacích procedúr

Na základe testovacích procedúr sú pripojené signály z jednotlivých zväzkov do testovacích blokov. Každý z blokov obsahuje signál na pripojenie merania a do každého bloku prichádza signál z digitálnej karty, ktorá pripojenie ovláda. Signály do bloku spracovania signálov prichádzajú zväzkom Digital_IN, kde sú označené príslušným číslom podľa testovacej procedúry. Pre DPS BEMC sa jedná o procedúry C1, C2, C3 a pre DPS BEMP sú to signály 1-15. Spracovanie signálov z vyhodnocovania skratov sú realizované pomocou dvoch digitálnych 8 – bitových multiplexorov 74HC151 [61]. Multiplexory sú napájané z vetvy 5V-PWR a adresované digitálnou kartou na piny

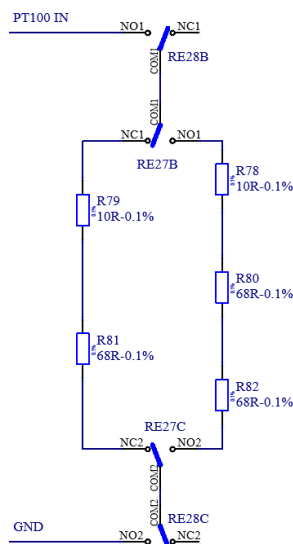
INPUTS			OUTPUTS		
SELECT			STROBE \bar{G}	Y	W
C	B	A			
X	X	X	H	L	H
L	L	L	L	D0	$\bar{D}0$
L	L	H	L	D1	$\bar{D}1$
L	H	L	L	D2	$\bar{D}2$
L	H	H	L	D3	$\bar{D}3$
H	L	L	L	D4	$\bar{D}4$
H	L	H	L	D5	$\bar{D}5$
H	H	L	L	D6	$\bar{D}6$
H	H	H	L	D7	$\bar{D}7$

Tab. 4.3: Adresovanie vstupov multiplexorou 74HC151 [61]

A, B a C. Na signály sú pridané pull-down rezistory, ktoré eliminujú nejasný stav po odpojení signálu. Adresovanie pinov je podľa nasledovnej tabľky 4.3:

Pre účely spracovania signálov je použitý len výstup Y. V zapojení sú použité dva multiplexory, ktoré sú adresované paralelne a každý z nich je vyčítaný jedným signálom digitálnej karty. Celkovo je takto spracovaných 16 signálov a signály C1 a P12 sú spracované samostatnými vstupmi do digitálnej karty.

Simulácia PT-100



Obr. 4.16: Schématické zapojenie testovania snímača PT100

Súčasťou schémy pre spracovanie skratov je aj implementácia procedúry BEM-TC-0008. Úlohou tejto procedúry je overenie merania teploty nasávaného vzduchu. Overenie merania je realizované v dvoch krokoch. Prvým je pripojenie merania na vstupné signály riadiacej jednotky. Po pripojení je do obvodu pripojený rezistor s hodnotou 78 Ω , ktorý simuluje hodnotu -56 °C. V druhom kroku sa hodnota pripojeného odporu prepne signálom z digitálnej karty na hodnotu 146 Ω , ktorá reprezentuje 120 °C. Keďže odpor PT-100 sa vplyvom teploty mení lineárne, je možné v tomto kroku v prípade veľkej odchýlky meranie teploty kalibrovať preložením lineárnou priamkou so smernicou, ktorá vyplýva z meraných hodnôt.

4.2.7 Spínanie relé

Signály pre spínanie relé pochádzajú z digitálnych signálov kariet. Signály však nie je možné pripojiť na relé napriamo pretože karty nedokážu dodať potrebný prúd. Ako spínacie prvky boli zvolené N-MOSFET typu BSS123 s nasledujúcimi parametrami. [62]

Parametre MOSFET:

Napätie Drain-Source	100 V
Napätie Gate-Source	± 20 V
Prúd Drain_SW	0,17 A
Odpor Drain-Source	6 Ω
Maximálny výkon	0,36 V

Tranzistory sú napájané z vetvy +12V-PWR. Ku každému relé sú paralelne pripojené flyback diódy. Na Gate tranzistora je pripojený 47 k Ω pull-down rezistor, ktorý odoberie náboj z gate po odpojení signálu. Nulové odpory použité pri RE9 a RE10 sú z dôvodu pretože relé pripájajú citlivé meranie termočlánku, ktoré vyžaduje typ layout, pri ktorom nebude do izolovanej časti polygónu BATGND vstupovať priamo iný signál.

4.2.8 Blok CAN test, Motor

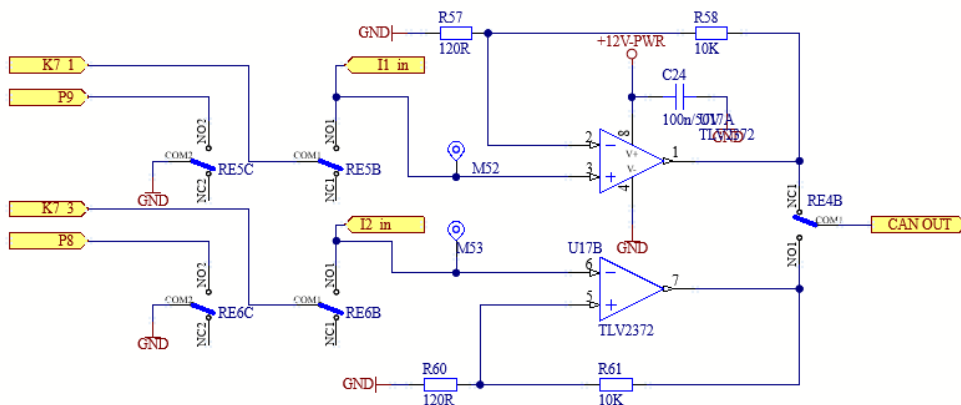
Tento schématický blok združuje implementáciu overenia priechodnosti zbernice CAN, pripojenie štartér-generátoru do testovacieho obvodu, pripojenie napájania BEM, implementáciu merania kapacity medziobvodu a prepojenie zemí EUT a TPR.

4.2.9 Návrh merania priechodnosti CAN

Z návrhu testovacích prípadov vyplýva že odpor ochranných prvkov zbernice CAN je v rozsahu 0,1 – 10 Ω . Keďže sa jedná o relatívne malý rozsah, ktorý je potrebné

určiť pomerne presne, bude pre meranie využitý analógový vstup. Meranie odporu bude prebiehať nepriamo, úbytkom napätia na zbernici CAN. Pri meraní nebude po zbernici prebiehať žiadna komunikácia. Aby po otestovaní bolo možné zbernicu používať, meranie bude možné úplne izolovať od zbernice.

Popis funkcie



Obr. 4.17: Schématické zapojenie overenia priechodnosti CAN

Prúdový zdroj s konštantným prúdom 10 mA popísaný v bloku power, je pripojený pomocou relé RE5. Prúd vteká do obvodu v mieste I1_in. Po pripojení testovanej zbernice a zopnutí RE5 začne do obvodu tiecť prúd. Zbernica je pripojená v mieste K7_1 a P9 cez ktorý tečie testovací prúd a uzatvára sa v GND. Na meracom bode M52 vznikne úbytok napätia, ktorý je závislý na odpore meranej zbernice. Napätie je pripojené na neinvertujúci vstup operačného zosilňovača TLV2372 [63]. Odpor zbernice je v rozsahu 0,1 – 10 Ω preto napätie na M52 bude v rozsahu podľa vzťahov 4.7 a 4.8

$$U_{MIN} = R_{MIN} \cdot I = 0,1 \cdot 0,01 = 0,001V \quad (4.7)$$

$$U_{MAX} = R_{MAX} \cdot I = 10 \cdot 0,01 = 0,1V \quad (4.8)$$

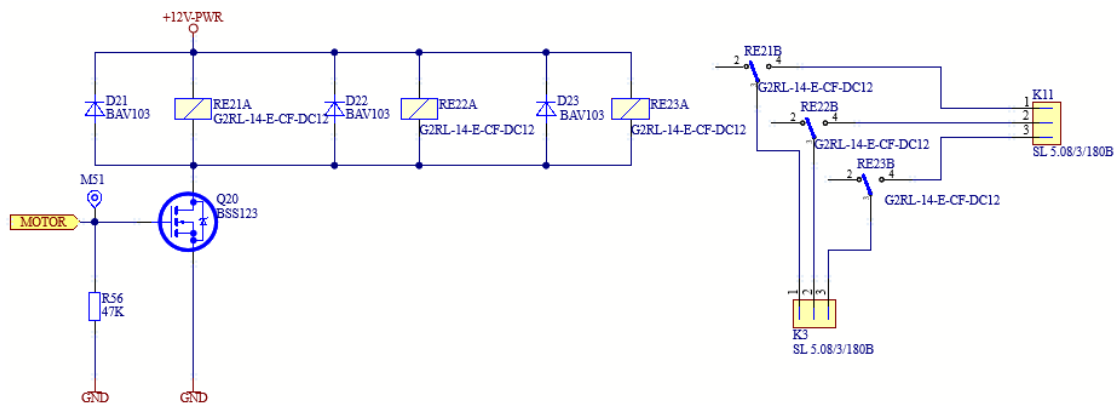
Zosilňovač U17 zosilňuje vstupné napätie 0,001 až 0,1 V, aby napätie pokrylo rozsah meracej karty 0 - 10 V. Veľkosť zosilnenia bola zvolená tak, aby pri meraní zostala horná $\frac{1}{4}$ meracieho pásma pre hodnoty nad odporu nad 10 Ω . Výpočet zosilnenia je podľa vzťahu 4.9

$$a = 1 + \frac{R58}{R57} = 1 + \frac{10000}{120} = 84,33V/V \quad (4.9)$$

Z toho vyplýva výsledné merané napätie v rozsahu 0,08433 až 8,433V. Toto napätie je následne merané analógovým vstupom meracej karty. Z dôvodu úšetrenia jedného analógového vstupu bude výstupné napätie prepínané pomocou relé RE4.

Pripojenie štartér-generátora

Jedným z funkčných testov, ktorý bude jednotka počas testovania vykonávať je test točenia štartér-generátora, ktorým sa overí že celý blok spínania, spínacie tranzistory aj spolu s budičmi fungujú správne. Štartér-generátor je potrebné pri niektorých testoch odpojiť. Preto bude pripájaný pomocou výkonových relé. Z technickej špecifikácie vyplýva, že výkon štartér-generátora je 200 W. Z toho vyplýva že pri najhoršom prípade, kedy bude motor napájaný z 12 V, bude do motoru tiecť 16,66 A. Tento prúd bude však rozdelený medzi 3 fázy motora. Pre spínanie boli použité tri 16 A výkonové relé od výrobcu Omron, typ G2RL-14-E-CF 12DC [64].



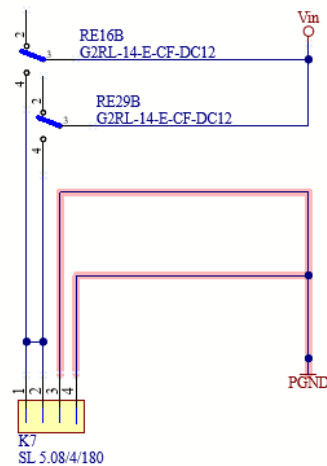
Obr. 4.18: Schématické zapojenie pripojenia štartér-generátora

Parametre:

Napätie cievky	12 V
Odpor cievky	360 Ω
Typ	SPDT
Max. prúd kontaktami	16 A

Pre každú z fáz bolo použité jedno relé. Ako konektor na pripojenie motora a testovanej DPS je použitý konektor SL 5.08/3/180 s prúdovou zatažitelnosťou až 16 A. Relé sú pripojené paralelne a ku každému relé je pripojená flyback dióda. Relé sú napájané z +12V-PWR a spínané pomocou N-MOSFET, ktorý je ovládaný digitálnym signálom.

Pripojenie napájania



Obr. 4.19: Schématické zapojenie pripojenia napájania

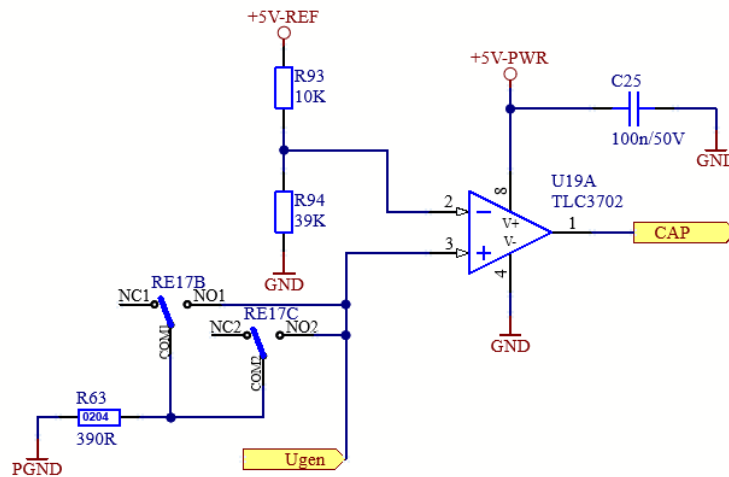
Podobne ako predchádzajúcom prípade zdroj, ktorým bude jednotka napájaná, bude potrebné pre potreby testov odpojiť. Z technickej špecifikácie vyplýva že maximálne prúdové zaťaženie jednotky je 30 A. Pre pripojenie napájania na jednotku boli použité rovnaké výkonové relé ako v predchádzajúcom prípade. Pripojenie riadiacej jednotky bolo realizované cez konektor SL 5.08/4/180, ktorý má maximálne zaťaženie 16 A. Pre potrebu pripojenia boli piny zdvojené a tým tak dosiahnutá prúdová zatažitelnosť 32 A. Rovnako to bude a v prípade relé, kde na pripojenie napájania budú použité 2 relé. Potenciál PGND je pripojený k riadiacej jednotke nepretržite a nie je potrebné ho rozpájať.

Kapacita medziobvodu

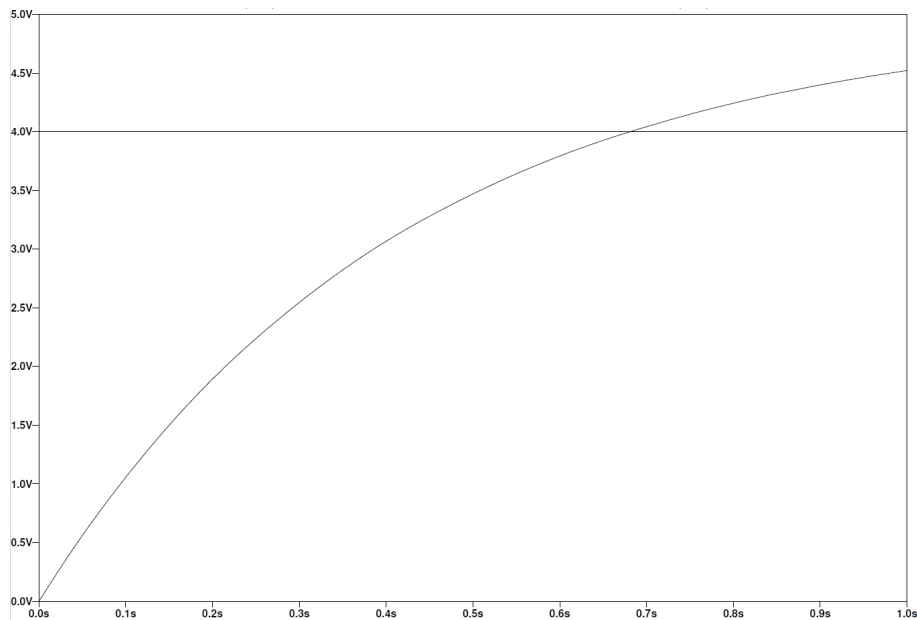
Implementácia merania kapacity medziobvodu je založená na čase nabíjania kapacity. Kondenzátory sa nachádzajú na vetve Ugen a ich spoločná kapacita je 893,3 μF . Testovanie prebieha tak že sú kondenzátory najskôr vybité cez rezistor R63 zopnutím relé RE17. Následne je pripojené napätie 5 V cez rezistor 470 Ω a rozpojené relé RE17. Kondenzátory sa začnú nabíjať. Čas nabíjania je stanovený vzťahom č. 4.10. [65]

$$t = -R \cdot C \cdot \ln \left(1 - \frac{V}{V_0} \right) = -470 \cdot 893,3 \cdot 10^{-6} \cdot \ln \left(1 - \frac{4}{5} \right) = 0,6752s \quad (4.10)$$

kde V_0 je napätie, ktorým je obvod napájaný a V je napätie, ktoré bude po čase t na kondenzátoroch. Tento výpočet podporje simulácia na obr 4.21



Obr. 4.20: Schématické zapojenie pripojenia napájania



Obr. 4.21: Graf nabíjania kapacít medziobvodu v závislosti na čase

Komparátor U19 vyhodnocuje napätovú hladinu 4 V a po jej dosiahnutí sa jeho výstup preklolí na úroveň HIGH, ktorá je zaznamenaná vstupom do digitálnej karty.

Prepojenie zemí EUT a TPR

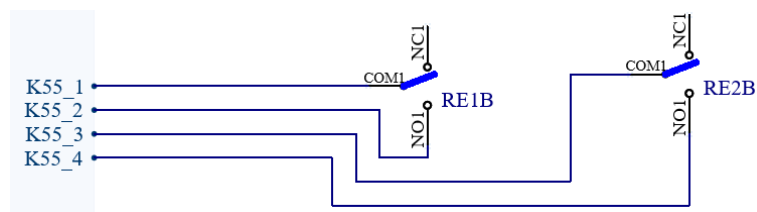
Pre účely testovania väčšiny výrobných testov je potrebné, aby zemné potenciály testovacieho zariadenia a testovanej riadiacej jednotky boli oddelené. V prípade vyčítavania analógových vstupov je naopak žiaduce aby boli prepojené. Pre potreby

testovania je zeme možné nevykonovo spojiť. Prepojenie je realizované pomocou relé RE3.

4.2.10 Návrh schémy Block

Schéma Block je hlavnou schémou v testovacej DPS BTES. Obsahuje schématické značky meracích kariet a implementuje všetky bloky ktoré boli popísané v predchádzajúcich kapitolách. Signály z oboch testovaných DPS sú privedené z bloku Interface a následne sú na základe testovacích prípadov pripojené k príslušným blokom. V schéme block sa ďalej nachádzajú implementácie jednotlivých testovacích procedúr, pre ktoré nebolo potrebné vytvárať samostatnú stranu v schématickom návrhu. V nasledujúcich podkapitolách bude vysvetlená ich funkcia.

Spínanie signálov USEL1, USEL2

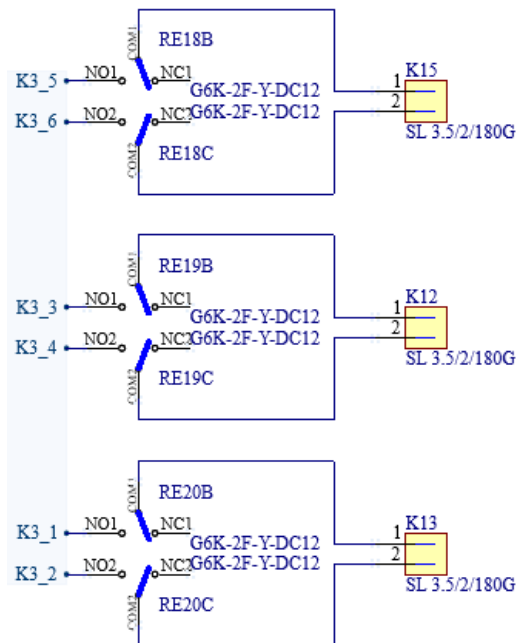


Obr. 4.22: Ukážka schématického zapojenia prepojenia zemi

Na DPS BEMC sa pri voľbe veľkosti výstupného napätia pripájajú signály USEL1 a USEL2 na napätie 3,3 V a to za účelom nastavenia výstupného napätia. Toto prepojenie sa realizuje prepojením dvoch signálov na konektore pomocou jumpera. Pri testovaní meniča v prípadoch BEM-TC-0025 až BEM-TC-0029 je potrebné otestovať, že riadiaca jednotka je schopná generovať správne všetky hladiny výstupného napätia. Aby nebolo nutné po každom teste zmeniť pozíciu jumpera manuálne, sú signály z DPS vyvedené a spínané pomocou relé RE1 a RE2.

Test spínania ventilov

Riadiaca jednotka je počas funkčných testov testovaná na spínanie palivových ventilov. Z informácii z technickej špecifikácie vyplýva, že impedancia všetkých troch ventilov je 33Ω . Pri konkrétnom teste je potrebné zaručiť že jednotka dokáže spoľahlivo spínať ventily. Pre tento účel sa pripoja na konektory K12, K13 a K15 rezistory s rovnakou hodnotou odporu. Rezistory sú pripojené cez relé, aby ich bolo možné spoľahlivo odpojiť a neinterferovali tak s testovacími prípadmi, ktoré určujú prítomnosť možného skratu. Pri procese testovania testovacie zariadenie pripojí záťažové



Obr. 4.23: Ukážka schématického zapojenia pripojenia ventilov

rezistory do obvodu riadiacej jednotky na konektor K3. Následne je jednotka pripojená na napájanie a vyšle signál na zopnutie ventilu. Riadiaca jednotka testovacie zariadenie následne merajú prúd, ktorý tečie do rezistoru. Pokiaľ je prúdový odber navýšený o min. 200 mA je test považovaný za úspešný a pokračuje sa na testovanie ďalšieho ventilu.

Test funkcie prúdového snímača

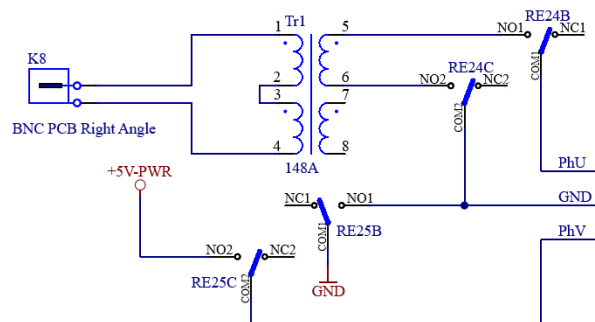
Prúdový snímač sa na DPS BEMP nachádza hneď za vstupom batérie. Jeho úlohou je merať celkový prúd odoberaný z batérie pri štartovaní a po úspešnom zapálení meria prúd ktorý je spätne dodávaný generátorom. Na obrázku TBD je zobrazené zjednodušené zapojenie tohto snímača, jedná sa o prúdový zosilňovač LTC6101 [66], ktorý zosilňuje úbytok napätia na $1,5 \text{ m}\Omega$ bočníku. Účelom testu je nechať obvodom tiecť definovanú hodnotu prúdu, ktorá vytvorí úbytok napätia na bočníku ktorý je následne zosilnený LTC6101 a meraný testovacím zariadením. Jedná sa o výrobný test ktorý určuje správnosť vyrobenej a osadenej DPS a v tejto fáze testovania prúd ešte jednotka nemeria.

Návrh sa skladá z dvoch častí z toho obe sa nachádzajú na schéme Block. Prvým ktorým je pripojenie záťažového rezistoru $5,2 \Omega$ na napájaciu vetvu Usup voči GND. V tomto momente na DPS nie je pripojené žiadne napätie. Výkonový rezistor je pripojený pomocou dvoch relé aby ho bolo možné po dokončení testovania úplne

odpojiť.

Prúdový snímač bude možné testovať až na maximálnu hodnotu prúdu 4 A, pretože maximálny nespínaný prúd jedným kontaktom relé môže byť až 2 A. V tomto prípade sú pre každý pól rezistoru použité dva kontakty. Druhým krokom je pripojenie napätia 7,8 V ktoré je pripojené na vetvu Ugen a zároveň na gate tranzistorov Q7 a Q12 ktoré sú pripojené pull-down rezistorom ku vyvedenému stredom meniča. Zo simulácie a experimentálnych meraní vyplýva, že rozdiel napätí medzi gate a stredom tranzistorov je väčší ako 2,6 V, čo je typická hodnota pre otvorenie MOSFET FDMS86201 [67]. Po pripojení záťaže a napájania sa uzatvorí obvod a rezistorom začne tiecť prúd o veľkosti 1,5 A. Tento prúd spôsobí úbytok napätia na bočníku a zosilnené napätie je merané analógovým vstupom AIN 3.

Test merania otáčok a nad-otáčkovej ochrany



Obr. 4.24: Schématické zapojenie pripojenia generátoru a napätia na fázy

Meranie otáčok turbíny je jednou z hlavných úloh riadiacej jednotky. Otáčky turbíny sú jedným z parametrov, na základe ktorých jednotka vyhodnocuje prívod paliva do spaľovacej komory a riadenie motora. Nad-otáčková ochrana zabraňuje aby sa motor dostal do otáčok, ktoré by mohli mať pre motor deštruktívne následky. Riadiaca jednotka transformuje sínusový signál na obdĺžnikový signál, ktorý vstupuje do GPIO pinu procesora. Frekvencia je následne porovnávaná s presným oscilátorom a prekročenie frekvencie je vyhodnocované logikou. Obvod pre meranie otáčok obsahuje dva vstupy signálu, ktorými sú fázy PhU a PhV. Vstupom do obvodu je sínusový signál, ktorý bude generovaný generátorom. Signál z generátoru vstupuje fáze PhU, a pretože zapojenie je schopné vyhodnocovať meranú frekvenciu aj pri výpadku signálu jednej z fáz tak na fázu PhV je pripojené konštantné napätie 5 V. Pripojenie napätia a generátora je pomocou dvoch relé, aby bolo docielené že sa pri

iných testoch nebude prúd uzatvárať cez generátor. Generátor je na meranie otáčok pripojený pomocou oddelovacieho transformátora Hammond 148A [68], ktorý je konfigurovaný na pomer vstupného signálu k výstupnému 1:1.

Meranie napätí

Všetky signály, ktoré je potrebné merať boli vyvedené do schémy block a pripojené na príslušné analógové vstupy. Celkovo sa na karte MCC USB-231 nachádza 8 analógových vstupov, ale pre pokrytie všetkých testovacích procedúr je potrebné, aby zariadenie bolo schopné merať napätie až na desiatich rôznych signáloch. Použitie ďalšej analógovej karty by bolo finančne nevýhodné, preto boli zvolené štyri napätia, ktorých meranie nie je naviazané na funkciu ďalších procedúr. Tieto signály boli pripojené cez relé a je ich možné prepínať digitálnym výstupom. Rozsah merania analógových vstupov je -10 až 10 V. V troch prípadoch napätí nastala situácia, kedy pripojené meranie hranične dosahovalo maximálnu meranú hodnotu meranej analógovým vstupom, alebo presahovalo maximálnu hodnotu. Jedná sa o napätia +10 V merané na DPS BEMP, napätie meniča ktoré môže byť až 28 V a napätie na vstupe do riadiacej jednotky až 30 V. Tieto napätia boli prispôbené napäťovými deličmi s použitím presných rezistorov a výsledné hodnoty napätia sú v tabuľke 4.4.

signál	Pôvodné napätie	R1	R2	Výsledný pomer
+10V	10V	10k	40k	$U \cdot 4/5$
Ugen	28 V	30k	10k	$U/4$
Vin	30 V	30k	10k	$U/4$

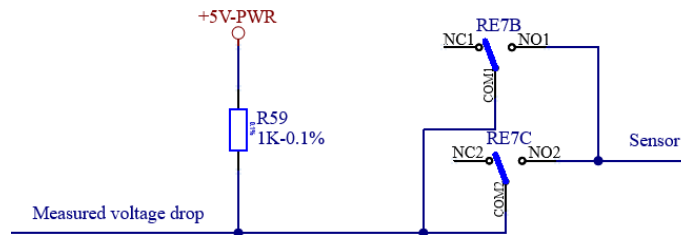
Tab. 4.4: Tabuľka napäťových pomerov analógových vstupov

Pri testovacom prípade BEMP-TC-0004 je merané napätie 10 V s presnosťou $\pm 0,5$ V. Táto zmena pomeru meraného napätia zapríčiní v rovnakom pomere zmenu presnosti na $\pm 0,4$ V. Testovací prípad bude upravený. Signály sú na analógové vstupy pripojené podľa nasledujúcej tabuľky:

Ovládanie zdroja, pripojenie osciloskopu

Pre generovanie napájacieho napätia do jednotky je použitý zdroj Statron 3257.1, ktorý je možné ovládať externe napäťovo pomocou dvoch vysoko-impedančných analógových vstupov. Tieto signály sú vyvedené na panel testovacieho zariadenia z DPS cez 9 pinový D-SUB konektor K6. Pri funkčných testoch meniča sa zaznamenáva a porovnáva priebeh na osciloskope. Osciloskop sa pripája na vetvu Usup cez relé RE26, aby bolo zamedzené uzatváranie prúdov cez externé zariadenia.

Návrh testovania teplotného snímača meniča



Obr. 4.25: Schématická návrh testovania teplotného snímača

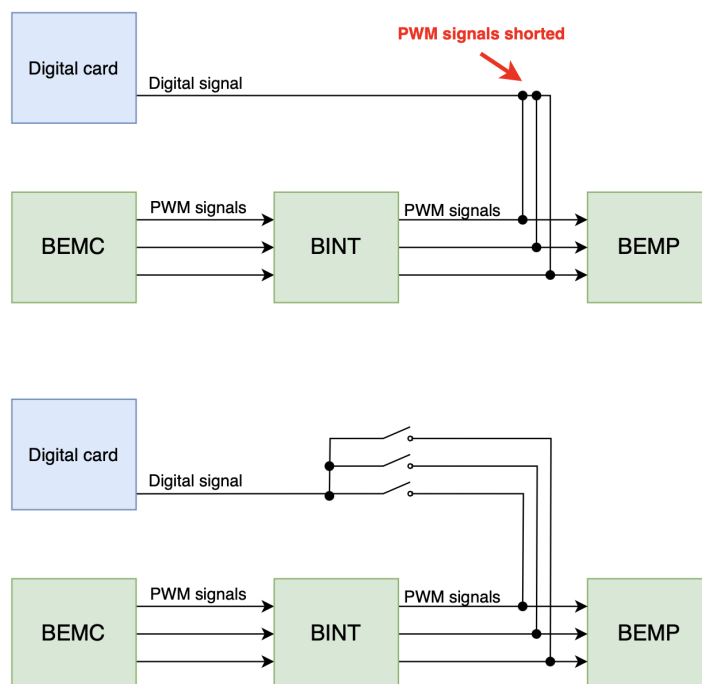
Testovanie funkcie teplotného snímača prebieha na DPS BEMP pri nepripojenom napájacom napätí, kedy odporové teplotné čidlo KTY82-210 [45] sníma teplotu okolia 20 až 25 °C, pri ktorej je jeho odpor v rozsahu 1901 až 2020 Ω. Teplotné čidlo je cez relé pripojené do merania a tvorí napäťový delič s presným 0,1 % rezistorom 1k Ω. Napäťový delič je pripojený na zdroj 5 V. Napätie na deliči je následne merané analógovým vstupom. Spodná hranica, pre ktorú je test považovaný za úspešný je podľa vzťahov 4.11 a 4.12

$$U_{MIN} = \frac{U \cdot R_{MIN}}{R_{59} + R_{MIN}} = \frac{5 \cdot 1901}{29101} = 3,28V \quad (4.11)$$

$$U_{MAX} = \frac{U \cdot R_{MAX}}{R_{59} + R_{MAX}} = \frac{5 \cdot 2020}{3020} = 3,34V \quad (4.12)$$

Spínanie signálov

V schéme sa ďalej nachádzajú relé RE30 až RE35. Signály, ktoré sú k týmto relé pripojené sú PWM signály pre ovládanie meniča motora, napäťového meniča a ovládanie ventilov. Tieto signály ďalej smerujú na vstup budiča MOSFET, alebo priamo na gate MOSFET. Pri zisťovaní skratu a funkcie MOSFET sa k týmto signálom pripája digitálny výstup, ktorý pri teste zopne MOSFET. Vzhľadom k tomu, že digitálnych signálov je obmedzené množstvo boli MOSFET rozdelené do dvoch skupín. High-side MOSFET spoločne pripojené na vetvu Ugen a Low-side MOSFET spoločne pripojené na GND. V takomto zapojení je možné testovať skraty a funkciu MOSFET. Po otestovaní výrobných testov je potrebné, aby signály, ktoré ovládajú jednotlivé MOSFET boli rozpojené, pretože riadiaca jednotka posielala v rovnakom čase 11 rôznych signálov. Aby mohli byť signály naďalej na sebe nezávislé, boli do cesty digitálnym signálom pridané relé, ktoré vedú v prípade potreby signály zoskupiť alebo ponechať nezávislé. Obrázok č. 4.26 tieto dva prípady znázorňuje.



Obr. 4.26: Znáozornenie potreby spínania signálov

4.3 Pripojenie meracích kariet

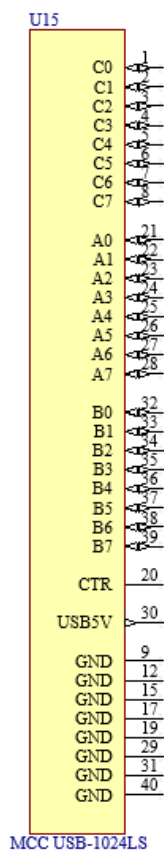
Karty na spracovanie analógových a digitálnych signálov sú do schémy implementované pomocou navrhnutých schématických blokov tak, aby zodpovedali vstupom a výstupom ako sú popísané v dokumentácii.

4.3.1 Digitálna karta MCC USB-1024LS

Schématická značka karty bola navrhnutá ako jeden blok, ktorý obsahuje vstupno-výstupné digitálne signály zoradené v logických zoskupeniach. USB konektor, ktorým sa zariadenie pripája k počítaču na schématickej značke nie je zobrazený, pretože bude externe vyvedený na panel testovacieho zariadenia. Pripojenie karty do DPS bolo realizované cez 37 pinový D-SUB konektor. Z dôvodu, že meracia karta obsahuje viac ako 37 číslovaných pinov, ale reálne využitých je len 34, bolo číslovanie upravené tak aby signály z meracej karty zodpovedali pinom na konektore. [55]

4.3.2 D/A karta MCC USB-231

Analógovo-digitálna karta bola do schémy implementovaná cez dvojicu schématických značiek ,kde prvá reprezentuje analógovú časť, vstupy aj výstupy a digitálnu



Obr. 4.27: Schématická značka karty MCC USB-1024LS

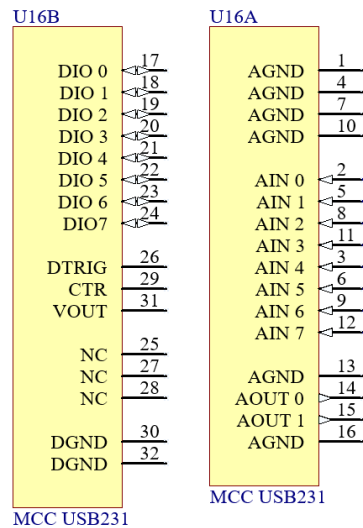
časť. Rovnako ako pri analógovej karte bol na pripojenie k DPS použitý upravený D-SUB konektor. USB konektor pre pripojenie bude vyvedený na panel. [54]

4.4 Návrh DPS BTES

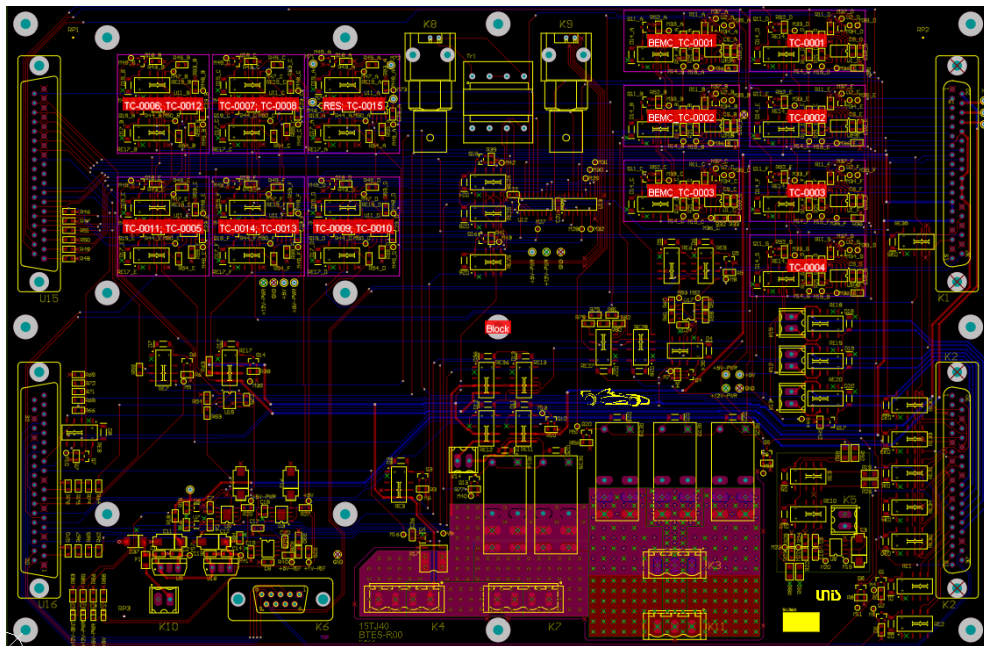
V tejto kapitole bude popísaná premena schématického návrhu na dosku plošných spojov. Popísaná bude úvaha za rozložením komponentov, zásady návrhu signálových a výkonových ciest, návrh špeciálnych izolovaných častí obvodu a návrh ciest, ktoré musia byť schopné preniesť až 30 A.

4.4.1 Doska plošných spojov BTES

Schématický návrh pozostáva celkovo z 8 strán pričom dve zo schém sa v návrhu opakujú, takže celkový počet strán je 19. Jednotlivé schémy sú rozdelené do logických celkov. Komponenty, ktoré sa nachádzajú v schéme pri sebe je potrebné rozmiestniť v rovnakom zoskupení aj na DPS, aby sa signály krížili v čo najmenšej



Obr. 4.28: Schématická značka karty MCC USB-231

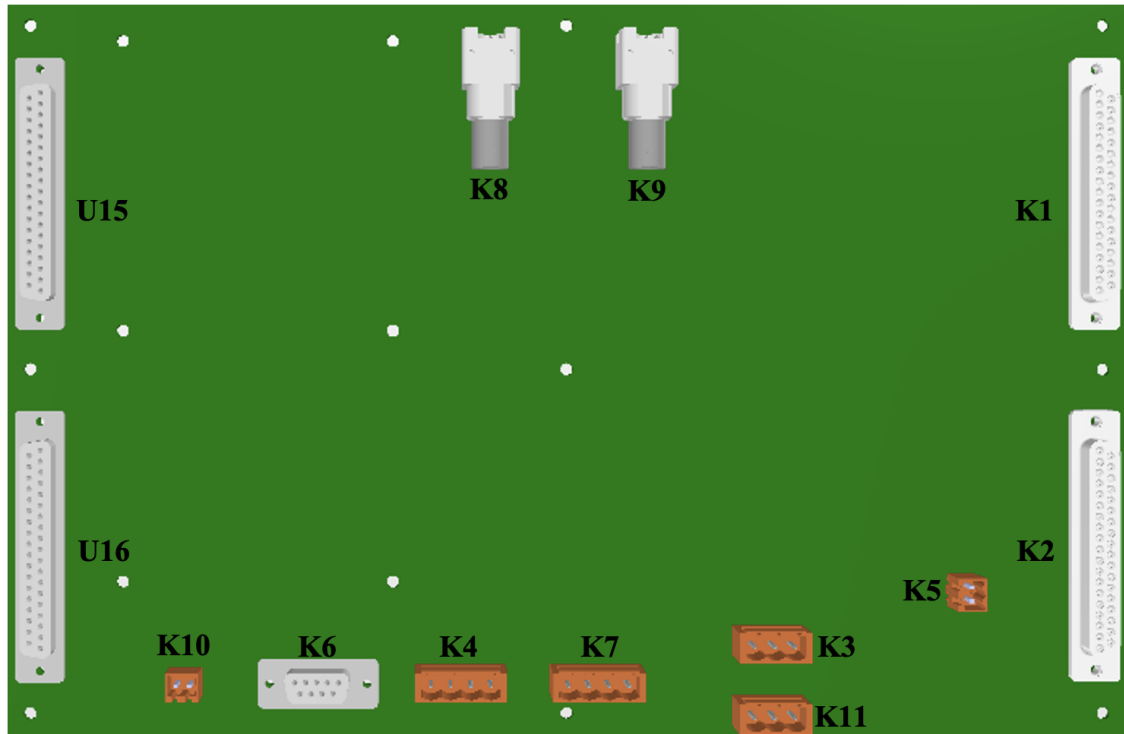


Obr. 4.29: Návrh layout DPS BTES

možnej miere. Takéto rozmiestnenie zjednoduší návrh a DPS bude možné navrhnuť na 4 vrstvy. Rozmer DPS bol stanovený maximálnou veľkosťou priestoru testovacej fixtúry, do ktorej bude DPS umiestnená. Tou je 300 x 200 mm s maximálnou výškou komponentov 70 mm. Aby DPS bola ľahko prístupná pri oživovacom procese prípadných oprav, bude na fixtúru inštalovaná komponentami smerujúcimi na zem. Z tohto umiestnenia vyplýva nutnosť ponechať voľné miesto pre kabeláž, ktorá sa

bude pripájať do DPS. Finálny rozmer DPS bol stanovený na 290 x 190 mm.

Rozmiestnenie konektorov



Obr. 4.30: Rozmiestnenie konektorov na DPS BTES

Prvkom, ktorý pre veľký počet signálov najviac ovplyvňuje kríženie signálov sú konektory. Konektory boli rozmiestnené po obvode DPS tak, aby bol z nich dobrý prístup smerom do stredu. Na obrázku č. 4.30 sa na ľavej strane nachádzajú konektory, ktorými sa pripájajú meracie karty do DPS. Vľavo hore je karta MCC USB-1024, dole potom karta MCC USB-231, konektorom K10 sa pripája 14 V napájacie napätie pre TPR, konektor K6 slúži ako konektor, ktorým budú vyvedené na panel signály pre ovládanie zdroja pre napájanie jednotky a komunikácia CAN. Konektorom K4 bude pripojené napájanie jednotky a do konektora K7 sa výkonovo pripája napájanie jednotky. Konektory K3 a K11 pripájajú jednotlivé fázy motora a výkonové fázové výstupy jednotky. Ku konektoru K5 bude z čelného panelu pripojená 12 V batéria pre funkciu izolovanej časti simulácie termočlánku. Na pravej strane sa potom nachádzajú konektory K1 a K2, ktorými sa pripája jednotka k TPR. V hornej časti sa nachádzajú BNC konektory, ktorými sa pripája osciloskop a funkčný generátor. Konektory sú zámerne orientované smerom do stredu DPS, aby bolo možné pripojiť k nim kábel, aj keď bude DPS uložená v blízkosti steny fiixtúry.

Rozmiestnenie komponentov

Komponenty sú na DPS rozmiestnené na DPS podľa logických zoskupení. Na obrázku 4.31 je zobrazené rozmiestnenie komponentov podľa príslušnosti k hlavným schémam. Všetky komponenty sú umiestnené na vrchnú časť DPS, aby bol zaisťovaný dobrý prístup pri oživovaní alebo opravách, zároveň to zjednodušuje strojové osadenie.

Farebné oblasti reprezentujú:

Modrá

Block

Zelená

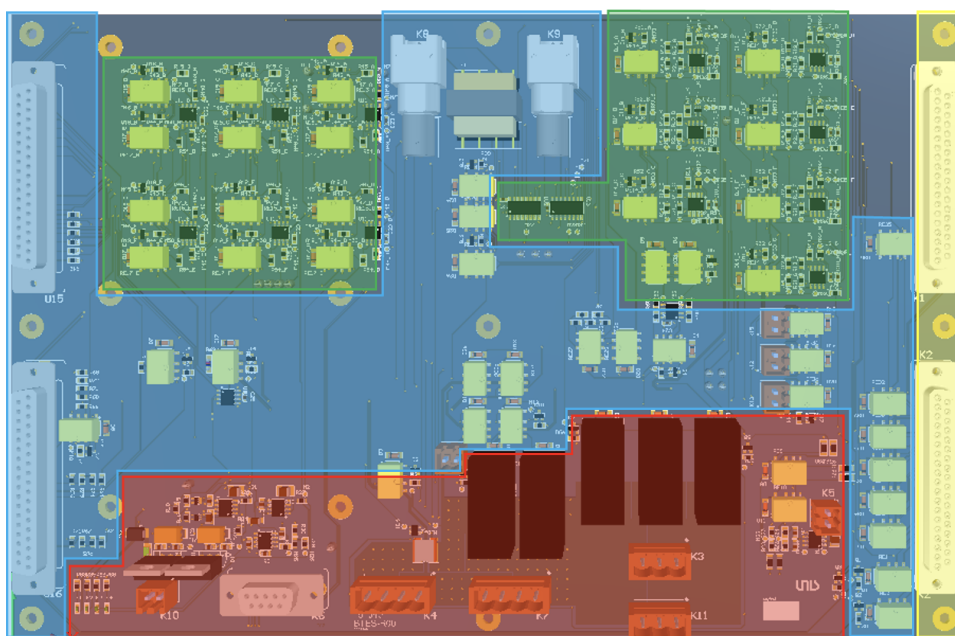
Open – short processing

Červená

Power

Žltá

Interface



Obr. 4.31: Rozloženie BTES na oblasti podľa názvov schém

Návrh signálových ciest

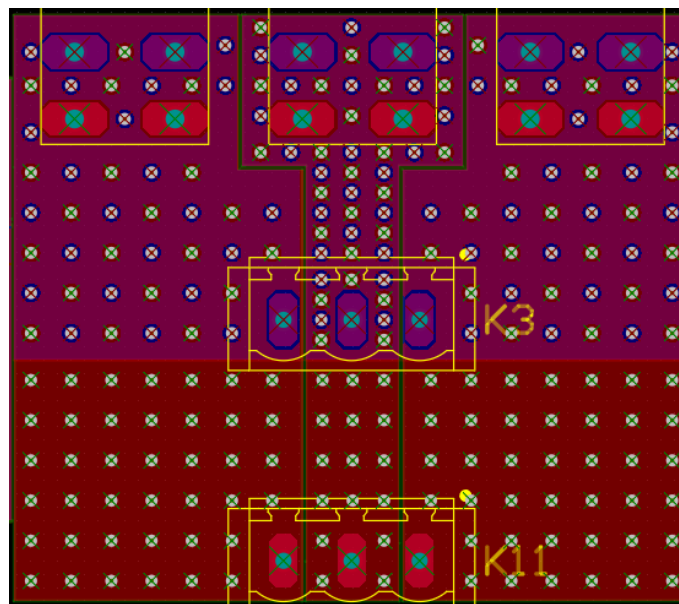
DPS BTES sa skladá zo 4 vrstiev 35 um medi. Dve prostredné vrstvy tvoria nenarušené pláty medi, ktorým sú priradené signály +12V-PWR a GND. Tieto dva signály boli zvolené z dôvodu že sú v návrhu využité najviac krát. Tým že sa pláty nachádzajú po celej ploche DPS je možné sa k nim jednoducho pripojiť pomocou prekovov vďaka čomu nie je potrebné dostávať napätie do bodov pomocou trás.

To zabezpečí že sa nebudú tvoriť prúdové slučky. Tieto pláty ďalej tvoria izolačnú vrstvu medzi vrchnou a spodnou vrstvou. Všetky ostatné nevýkonové signály boli nafaňané vo vrchnej a spodnej vrstve tak že vodorovné signály sa nachádzajú na spodnej vrstve a zvislé sa nachádzajú vo vrchnej vrstve. Táto metóda minimalizuje kríženie signálov v rovnakých vrstvách. Nevýkonové signály boli navrhované tak aby zniesli zaťaženie o veľkosti 1 A podľa vzťahu 3.1bola šírka určená v kapitole návrhu layout DPS BINT na 0,4 mm.

Návrh výkonových ciest

Na DPS sa nachádzajú signály, ktorých prúdová zaťažiteľnosť musí byť na úrovni 2 A. Pre tieto prípady bola hrúbka ciest dimenzovaná podľa vzťahu 3.1, z čoho vyplýva celková šírka cesty 0,78 mm ,čo po pridaní rezervy na úrovni jednej štvrtiny šírky cesty vychádza 1 mm. V návrhu sa nachádzajú dva prípady pripojenie štartér-generátora a pripojenie napájania pre jednotku, ktoré vyžadujú aby dodávaný prúd bol na úrovni 16 a 30 A. Pri takto vysokých prúdoch sa miesto klasických ciest používajú polygóny, ktorý budú zároveň slúžiť na odvod tepla. Pri viacvrstvých je možné rovnaký polygón vložiť do každej z vrstiev a efektívne tak rozdeliť pretekajúci prúd. Jednotlivé polygóny sú následne poprepájané prekovmi a tvoria tak solídne prepajenie

Návrh pripojenia štartér-generátora.

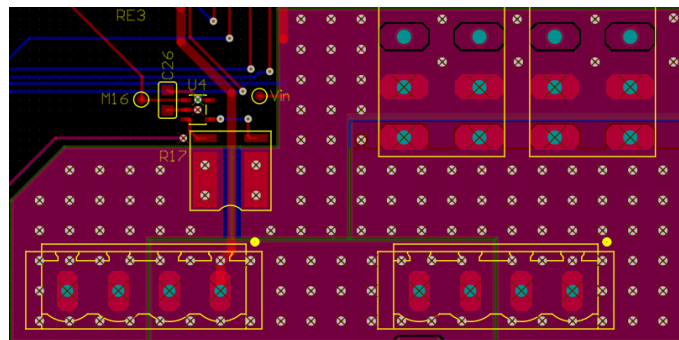


Obr. 4.32: Ukážka polygónov pripájajúcich štartér-generátor

Pripojenie štartér-generátora na DPS je realizované dvomi konektormi medzi ktorými sa nachádzajú výkonové relé. Celkový prúd, ktorý bude tiecť každou fázou môže byť až 16 A. Polygóny, ktoré prepájajú konektory s relé boli dimenzované podľa rovnakého vzťahu 3.1, z ktorého vyplýva, že šírka polygónu musí byť minimálne 13,75 mm. Na základe rozloženia konektorov a relé, je možné použiť pre každý signál len dve vrstvy, pretože sa relé nenachádzajú v strede medzi konektormi. Z toho vyplýva minimálna šírka polygónu na 7 mm. Obidve vrstvy sú medzi sebou poprepájané prekovmi.

Návrh pripojenia zdroja na napájanie jednotky

Pripojenie zdroja je realizované pomocou dvoch paralelne pripojených 16 A relé. Celkový prúd, ktorý DPS dokáže pretiecť bude 30 A. Z výpočtov na základe vzťahu 3.1 vyplýva, že minimálna šírka polygónu pre jednu vrstvu je 32,74 mm. V tomto prípade bude možné prúd rozdeliť do všetkých 4 vrstiev DPS a výslednou minimálnou šírkou polygónu je 8,185 mm. Táto minimálna šírka je dodržiavaná cez celú trasu od zdroja cez prúdový snímač až do výstupu do jednotky. Polygóny sú rovnako poprepájané prekovmi.

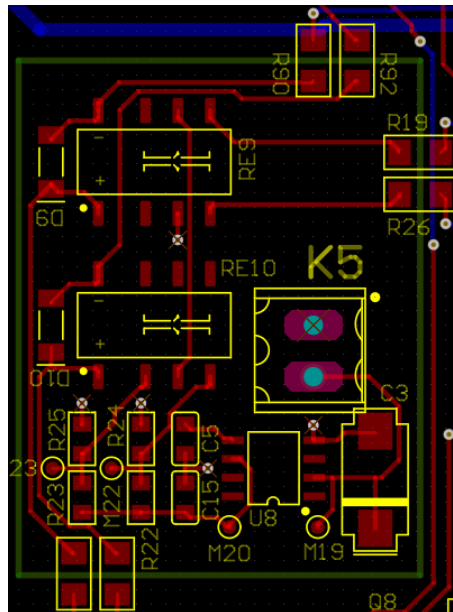


Obr. 4.33: Ukážka polygónov pripájajúcich napájanie jednotky

Návrh izolovanej časti obvodu

Najcitlivejšou časťou návrhu je generovanie napätia pre simulovanie termočlánku. A to z dôvodu, že sa jedná o napätie v hodnote 3,089 mV. Je generované pomocou presného napäťového deliča z napätia deliča z 5 V, ktoré je dodávané do obvodu presnou referenciou REF5050. Napätie do referencie je dodávané z 12 V batérie z dôvodu, aby bol obvod čo najmenej zarušený ostatnými signálmi. Návrh simulácie termočlánku je umiestnený do pravého dolného rohu, aby výstup bol v čo najkratšej vzdialenosti od konektoru ku ktorému sa pripája na konektor do testovanej DPS.

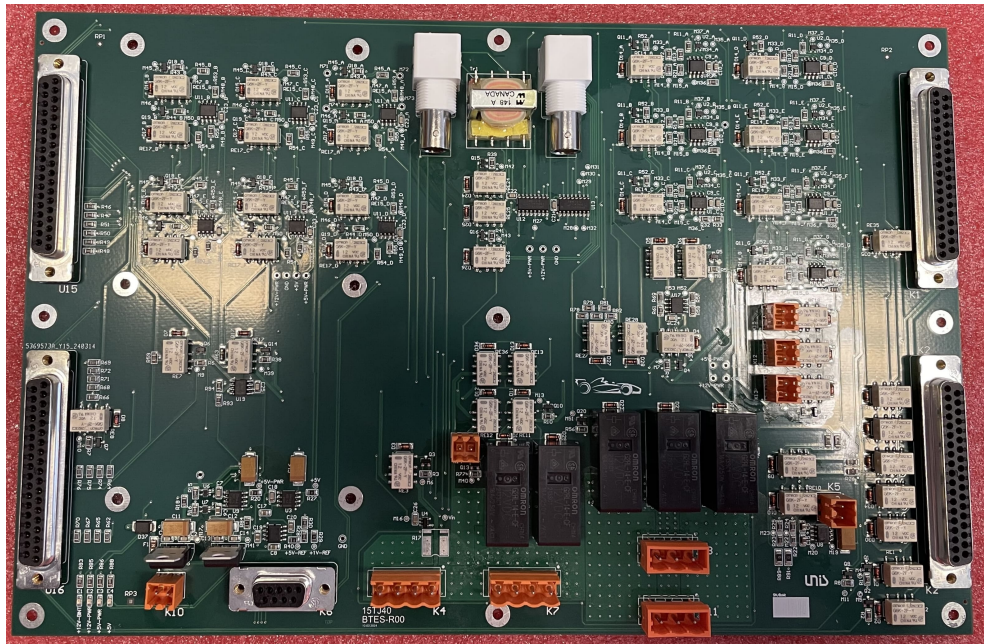
Obvod je úplne izolovaný od ostatných signálov tak, že je vytvorený ostrovček obdĺžnikového tvaru do všetkých 4 vrstiev, aby ním neprechádzali žiadne iné signály. Jediné dva signály, ktoré do obvodu vstupujú sú signály na ovládanie dvoch relé. Do cesty signálom sú vložené rezistory v púzdre 1206 s rozmermi 3,2 x 1,6 mm s hodnotou 0 Ω . Hlavnou funkciou týchto rezistorov je zamedziť, aby sa do izolovanej časti nedostalo žiadne rušenie, ktoré by sa mohlo naväzbiť po ceste signálu a rušiť obvod. Potenciál polygónov v izolovanej časti je pripojený na záporný pól batérie v schéme označený ako BATGND.



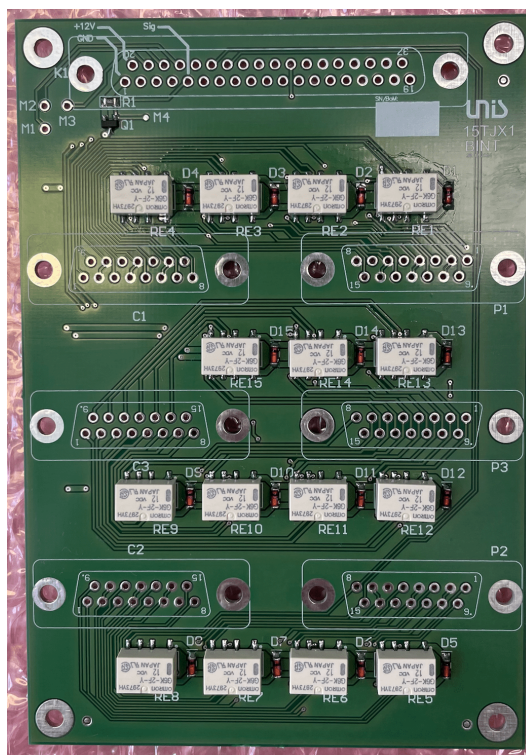
Obr. 4.34: Ukážka návrhu izolovanej časti obvodu

Výroba a osadenie DPS

DPS BINT bola vyrobená v dvoch kusoch, z ktorej jedna bola ručne osadená a oživená. Druhá DPS BINT bola osadená konektormi a poskytnutá externej firme, ktorá dodáva fixtúru. DPS BTES bolo vyrobených 5 kusov, z toho na dvoch kusoch boli strojovo osadené SMD komponenty a následne ručne doosadené všetky vývodové komponenty.



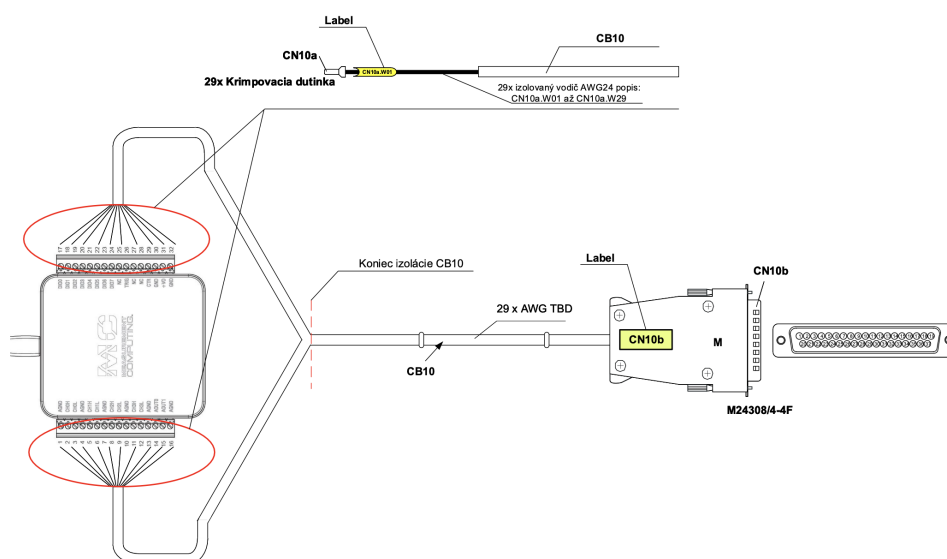
Obr. 4.35: Vyrobená a osadená DPS BTES



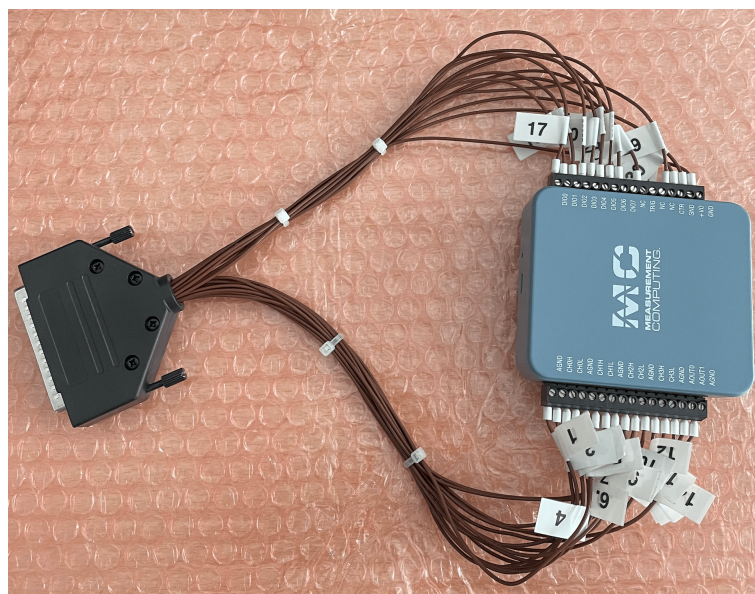
Obr. 4.36: Vyrobená a osadená DPS BINT

5 Pripojenie meracích kariet

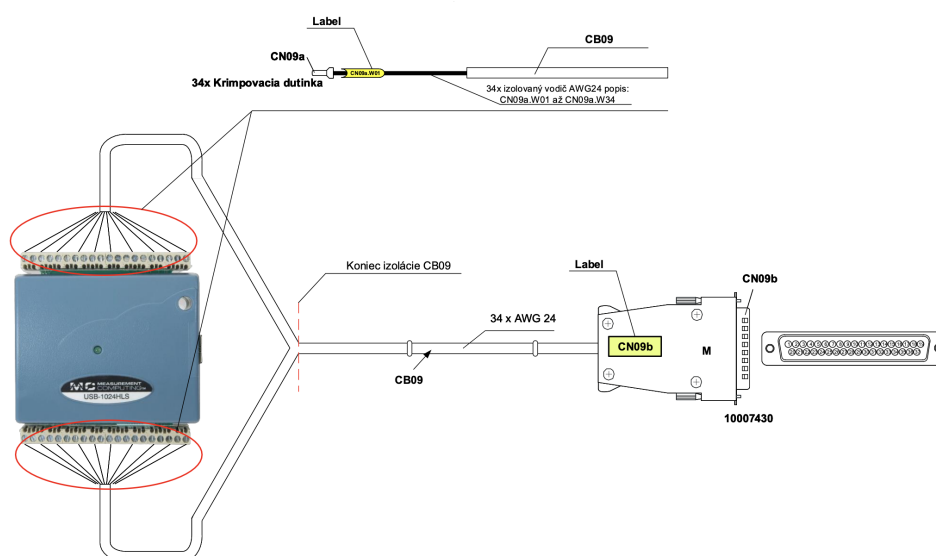
V tejto kapitole je popísané, akým spôsobom sú pripojené meracie karty k DPS BTES. Karty MCC USB-231 a MCC USB-1024 sa pripájajú do obvodu cez konektor U15 a U16. Pripojenie kariet v kroku oživovania nie je nevyhnutným krokom, ale je to zjednodušenie oproti pripájaniu jednotlivých signálov, ktoré nahrádzajú funkciu kariet. Karty sú do obvodu pripojené dvomi D-SUB konektormi, tak, aby výstup signálov zodpovedal vstupom podľa schématického návrhu. V tabuľke 5.1 sa nachádzajú štyri odstavce. V prvom stĺpci sa nachádza informácia o káblovom zväzku CB – cable bundle číslo 10, ktorý obsahuje vodiče w – wire 01 až 29. V druhom stĺpci je informácia o požadovanej hrúbke vodiča, tretí stĺpec, s názvom Strana 1, nesie informácie o strane konektoru a číslovaní. V tomto prípade sa jedná o svorkovnicu karty MCC-USB231 a v stĺpci Strana 2 sa nachádza informácia o druhej strane konektora a číslovaní pinov. V tomto prípade 37-pinový DSUB konektor. Na obrázku č. 5.1 je zobrazený nákres, ako bude pripojenie vyzeráť. Rovnakým spôsobom bude pripojená meracia karta MCC USB-1024. Nákres sa nachádza na obrázku č. 5.3 a číslovanie pinov v tabuľke 5.2. O podrobnom návrhu kabeláže je možné sa dočítať v kapitole 2.7.4. Pre účely testovania boli vyrobené dva konektory, pomocu ktorých boli meracie karty pripojené k BTES za účelom testovania DPS.



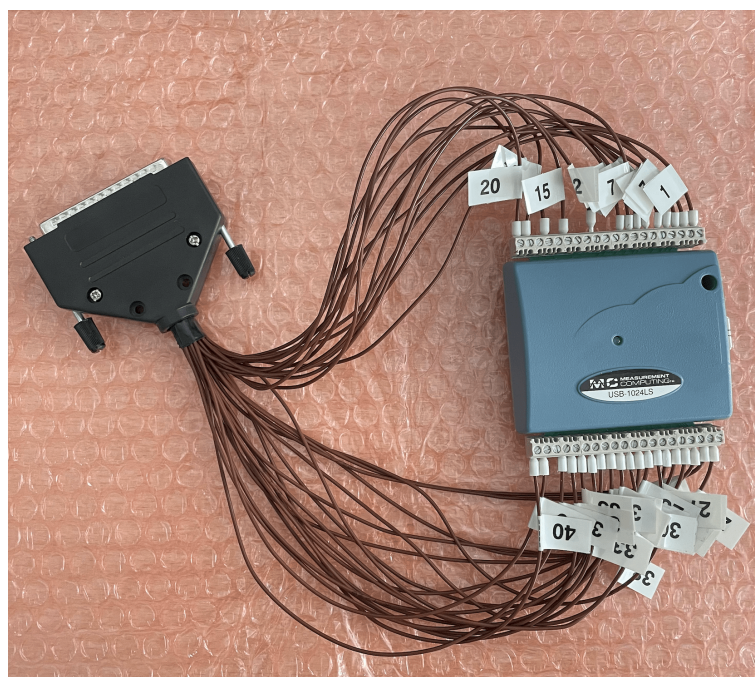
Obr. 5.1: Nákres pripojenia karty MCC USB-231



Obr. 5.2: Pripojenie karty MCC USB-231



Obr. 5.3: Nákres pripojenia karty MCC USB-1024LS



Obr. 5.4: Pripojenie karty MCC USB-1024LS

Potisk	Vodič		Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin	
CB10.W01	AWG 24	CN10a	1	CN10b	1	
CB10.W02	AWG 24	CN10a	2	CN10b	2	
CB10.W03	AWG 24	CN10a	3	CN10b	3	
CB10.W04	AWG 24	CN10a	4	CN10b	4	
CB10.W05	AWG 24	CN10a	5	CN10b	5	
CB10.W06	AWG 24	CN10a	6	CN10b	6	
CB10.W07	AWG 24	CN10a	7	CN10b	7	
CB10.W08	AWG 24	CN10a	8	CN10b	8	
CB10.W09	AWG 24	CN10a	9	CN10b	9	
CB10.W10	AWG 24	CN10a	10	CN10b	10	
CB10.W11	AWG 24	CN10a	11	CN10b	11	
CB10.W12	AWG 24	CN10a	12	CN10b	12	
CB10.W13	AWG 24	CN10a	13	CN10b	13	
CB10.W14	AWG 24	CN10a	14	CN10b	14	
CB10.W15	AWG 24	CN10a	15	CN10b	15	
CB10.W16	AWG 24	CN10a	16	CN10b	16	
		x	x	CN10b	17	
		x	x	CN10b	18	
		x	x	CN10b	19	
CB10.W17	AWG 24	CN10a	17	CN10b	20	
CB10.W18	AWG 24	CN10a	18	CN10b	21	
CB10.W19	AWG 24	CN10a	19	CN10b	22	
CB10.W20	AWG 24	CN10a	20	CN10b	23	
CB10.W21	AWG 24	CN10a	21	CN10b	24	
CB10.W22	AWG 24	CN10a	22	CN10b	25	
CB10.W23	AWG 24	CN10a	23	CN10b	26	
CB10.W24	AWG 24	CN10a	24	CN10b	27	
		x	x	CN10b	28	
CB10.W25	AWG 24	CN10a	26	CN10b	29	
		x	x	CN10b	30	
		x	x	CN10b	31	
CB10.W26	AWG 24	CN10a	29	CN10b	32	
CB10.W27	AWG 24	CN10a	30	CN10b	33	
CB10.W28	AWG 24	CN10a	31	CN10b	34	
CB10.W29	AWG 24	CN10a	32	CN10b	35	
		x	x	CN10b	36	
		x	x	CN10b	37	

Tab. 5.1: Tabuľka zapojenia karty MCC USB-231

Potisk	Vodič	Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin
CB09.W01	AWG 24	CN09a	1	CN09b	1
CB09.W02	AWG 24	CN09a	2	CN09b	2
CB09.W03	AWG 24	CN09a	3	CN09b	3
CB09.W04	AWG 24	CN09a	4	CN09b	4
CB09.W05	AWG 24	CN09a	5	CN09b	5
CB09.W06	AWG 24	CN09a	6	CN09b	6
CB09.W07	AWG 24	CN09a	7	CN09b	7
CB09.W08	AWG 24	CN09a	8	CN09b	8
CB09.W09	AWG 24	CN09a	20	CN09b	9
CB09.W10	AWG 24	CN09a	30	CN09b	10
		x	x	CN09b	11
CB09.W11	AWG 24	CN09a	9	CN09b	12
CB09.W12	AWG 24	CN09a	12	CN09b	13
CB09.W13	AWG 24	CN09a	15	CN09b	14
CB09.W14	AWG 24	CN09a	17	CN09b	15
CB09.W15	AWG 24	CN09a	19	CN09b	16
CB09.W16	AWG 24	CN09a	29	CN09b	17
CB09.W17	AWG 24	CN09a	31	CN09b	18
CB09.W18	AWG 24	CN09a	40	CN09b	19
CB09.W19	AWG 24	CN09a	21	CN09b	20
CB09.W20	AWG 24	CN09a	22	CN09b	21
CB09.W21	AWG 24	CN09a	23	CN09b	22
CB09.W22	AWG 24	CN09a	24	CN09b	23
CB09.W23	AWG 24	CN09a	25	CN09b	24
CB09.W24	AWG 24	CN09a	26	CN09b	25
CB09.W25	AWG 24	CN09a	27	CN09b	26
CB09.W26	AWG 24	CN09a	28	CN09b	27
		x	x	CN09b	28
		x	x	CN09b	29
CB09.W27	AWG 24	CN09a	32	CN09b	30
CB09.W28	AWG 24	CN09a	33	CN09b	31
CB09.W29	AWG 24	CN09a	34	CN09b	32
CB09.W30	AWG 24	CN09a	35	CN09b	33
CB09.W31	AWG 24	CN09a	36	CN09b	34
CB09.W32	AWG 24	CN09a	37	CN09b	35
CB09.W33	AWG 24	CN09a	38	CN09b	36
CB09.W34	AWG 24	CN09a	39	CN09b	37

Tab. 5.2: Tabuľka zapojenia karty MCC USB-1024LS

6 Oživenie DPS BINT

V tejto kapitole bude popísaný postup, akým spôsobom je navrhnuté testovanie oboch DPS BINT

6.1 DPS BINT

Z návrhu DPS BINT vyplýva, že doska bude plniť jeden účel, a to prepájanie signálov, ktoré sú k nej pripojené. Do DPS vstupujú 3 signály, z toho dva sú na privedenie napájania a jeden, ktorý dáva signál pre zopnutie relé a prepojenie signálov. Pred pripojením je najskôr potrebné zistiť, či sa na napájacej časti nenachádza skrat. Po overení, že sa skrat na DPS nenachádza je možné pripojiť na piny K1-20 a K1-1 regulovateľný zdroj 12 V s prúdovým obmedzením 300 mA. Po pripojení by sa nemalo stať nič. Multimetrom je potrebné zmerať že pin 1 na konektore C1 nie je spojený s pinom 1 na konektore P1 a rovnako aj pre všetky ostatné signály podľa tab 6.1.

Následne sa na pin K1-5 pripojí napätie 5 V. Malo by byť počuteľné signifikantné cvaknutie relé. V tomto bode je potrebné overiť multimetrom že pin 1 na konektore C1 je spojený s pinom 1 na konektore P1 a rovnako aj pre všetky ostatné signály podľa tab č. 6.2.

BEMP P1	BEMC C1	Očakávaný stav
1	1	Rozpojené
3	3	Rozpojené
5	5	Rozpojené
7	7	Rozpojené
9	9	Rozpojené
11	11	Rozpojené
13	13	Rozpojené
15	15	Rozpojené
BEMP P2	BEMC C2	
1	1	Rozpojené
3	3	Rozpojené
5	5	Rozpojené
8	8	Rozpojené
9	9	Rozpojené
11	11	Rozpojené
13	13	Rozpojené
15	15	Rozpojené
BEMP P3	BEMC C3	
1	1	Rozpojené
2	2	Rozpojené
3	3	Rozpojené
4	4	Rozpojené
5	5	Rozpojené
6	6	Rozpojené
7	7	Rozpojené
8	8	Rozpojené
9	9	Rozpojené
10	10	Rozpojené
11	11	Rozpojené
12	12	Rozpojené
13	13	Rozpojené
14	14	Rozpojené

Tab. 6.1: Tabuľka overenia rozpojenia signálov

BEMP P1	BEMC C1	Očakávaný stav
1	1	Spojené
3	3	Spojené
5	5	Spojené
7	7	Spojené
9	9	Spojené
11	11	Spojené
13	13	Spojené
15	15	Spojené
BEMP P2	BEMC C2	
1	1	Spojené
3	3	Spojené
5	5	Spojené
8	8	Spojené
9	9	Spojené
11	11	Spojené
13	13	Spojené
15	15	Spojené
BEMP P3	BEMC C3	
1	1	Spojené
2	2	Spojené
3	3	Spojené
4	4	Spojené
5	5	Spojené
6	6	Spojené
7	7	Spojené
8	8	Spojené
9	9	Spojené
10	10	Spojené
11	11	Spojené
12	12	Spojené
13	13	Spojené
14	14	Spojené

Tab. 6.2: Tabuľka overenia spojenia signálov

7 Oživenie DPS BTES

Oživenie DPS BTES je rozdelené do dvoch krokov. V prvom kroku je overenú funkčnosť zdrojov, ktoré sa nachádzajú na DPS. V druhom kroku je overená funkčnosť jednotlivých blokov. V tejto kapitole je popísaný postup, ktorými boli oživené funkčné bloky DPS BTES.

Overenie zdrojov

Pred pripojením DPS na napájacie napätie je potrebné overiť, že sa na vetve nenachádza skrat. Na DPS BTES sa celkovo nachádza 11 napätových úrovní a prítomnosť skratu je potrebné overiť pre každú jednu. V tabuľke 7.2 sa nachádza popis meracích bodov, ku ktorým je potrebné pripojiť multimeter.

Typ	Signál	Signál	Výstup testu
Skrat napájanie TPR	K10-2	GND	Bez skratu
Skrat +12V-PWR	+12V-PWR	GND	Bez skratu
Skrat +12V-BINT	+12V-BINT	GND	Bez skratu
Skrat +5V-PWR	+5V-PWR	GND	Bez skratu
Skrat +5V	+5V	GND	Bez skratu
Skrat +5V-REF	+5V-REF	GND	Bez skratu
Skrat +1V-REF	+1V-REF	GND	Bez skratu
Skrat na vstupe batérie	K5-2	K5-1	Bez skratu
Skrat napájanie ECU	K4-4,3	K4-2,1	Bez skratu
Skrat vetvy Vin M18	Vin	PGND	Bez skratu

Tab. 7.1: Tabuľka overenia skratov napätových úrovní

Po overení, že sa na DPS nenachádza skrat, je možné pripojiť napájanie na konektor K10-2 na kladný pól zdroja a K10-1 na záporný pól zdroja. Na regulovanom zdroji pripojenom ku K10 nastaviť 14V, prúdové obmedzenie 0,05 A. Prúdový odber do zariadenia by sa mal nachádzať v rozsahu 20 – 30 mA, čo zodpovedá odberu prúdovým zdrojom, LED a ostatným komponentom.

Odchýlky boli stanovené na základe maximálnej akceptovateľnej odchýlky s prihliadnutím na možnosti daného zdroja. Výsledky oživovania sú popísané v prílohách.

Kontrola digitálnych výstupov.

Privedením signálu 5 V z meracieho bodu, alebo zopnutím signálu meracou kartou sa očakáva, že signál zopne konkrétne relé alebo ho bude možné zmerať. Na

Typ	Signál	Signál	Hodnota [V]
Výstupné napätie +12V-PWR	+12V-PWR	GND	11,8 ÷ 12,
Výstupné napätie +12V-BINT	+12V-BINT	GND	11,8 ÷ 12,
Výstupné napätie +5V-PWR	+5V-PWR	GND	4,9 ÷ 5,1
Výstupné napätie +5V	+5V	GND	4,9 ÷ 5,1
Výstupné napätie +5V-REF	+5V-REF	GND	4,95 ÷ 5,05
Výstupné napätie +1V-REF	+1V-REF	GND	0,95 ÷ 1,05
Výstupné napätie na vstupe batérie	K5-2	K5-1	4,95 ÷ 5,05
Výstupné napätie napájanie ECU	K4-4,3	K4-2,1	3,098 m
Výstupné napätie vetvy Vin M18	Vin	PGND	28,174 m

Tab. 7.2: Tabuľka overenia napätových úrovní

nasledujúcom príklade je zobrazený proces overenia spínania.

Overenie bloku spínaného signálom A2:

- Na konektor K10-2 pripoj kladný pól regulovateľného zdroja a záporný pól na K10-1.
- Na regulovateľnom zdroji nastav napätie 12 V s prúdovým obmedzením 0,5 A.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE14_F.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE14_G.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 23.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE14_F.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE14_G.
- Vypni zdroj.

Takto vykonaný test zaručí, že všetky komponenty ktoré spína signál A2, fungujú správne.

Kontrola digitálnych vstupov a multiplexorov.

Digitálne vstupy sú celkovo použité 5-krát. Dvakrát sú použité na získavanie výstupu z multiplexora, dvakrát ako výstupy testov BEMC-TC-0001 a BEMP-TC-0012 a raz ako výstupná informácia o dosiahnutí napätia pri meraní kapacity medziobvodu. Vstupy je možné overiť tak, že bude nasimulovaný výsledok niektorého z testov pripojených na vstup . Ako príklad môže byť uvedený niektorý z testov skratu na MOSFET s tým, že bude test nastavený na výstup multiplexoru. Toto meranie má už veľmi blízko k vykonávaniu jednotlivých testovacích procedúr. Testom zároveň bude

overená funkčnosť digitálneho multiplexoru. Příklad testovacej sekvencie BEMP-TC-0006

- Na konektor K10-2 pripoj kladný pól regulovateľného zdroja a záporný pól na K10-1.
- Na regulovateľnom zdroji nastav napätie 12 V s prúdovým obmedzením 0,5 A.
- Nastaviť digitálny výstup C0 = HIGH na karte B.
- Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.
- Nastaviť digitálny výstup C2 = HIGH na karte B.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 24.
- Prepoj signál K1 – 8 so signálom K1 – 7.
- Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B. C5 musí mať hodnotu HIGH.
- Rozpoj prepojenie K1.
- Odpoj napätie z U15 – 24.
- Vypni zdroj.

Prvé tri riadky testovacej sekvencie nastaví výstup multiplexora, aby bol vyčítaný daný test. Následne je pripojené meranie a vyčítaná hodnota. Toto meranie simuluje nezopnutý MOSFET, preto na výstupe je očakávaná log. 0 následne je simulované zopnutie tranzistora, ktoré vyhodnocuje komparátor a výsledok sa objaví na digitálnom vstupe.

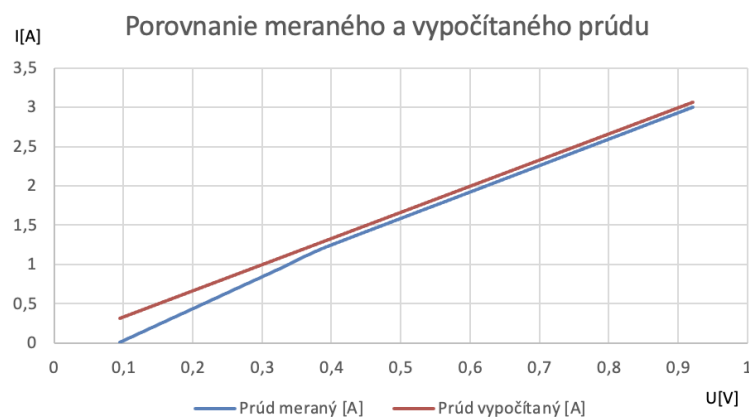
Kontrola funkcie bloku na overenie priechodnosti CAN zbernice

Blok na overenie funkcie zbernice CAN vyhodnocuje prítomnosť pripojenej impedancie v rozsahu 0,1 až 10 Ω . Prvým krokom je pripojenie zbernice CAN do meracieho obvodu. Pre účely oživenia je zbernica nahradená 5 Ω rezistorom. Po pripojení začne rezistorom tiecť prúd o veľkosti 10 mA. Tento prúd vytvorí na rezistore úbytok napätia podľa Ohmovho zákona 0,05 V. Operačný zosilňovač má nastavené zosilnenie 84,33 V/V. Z toho vyplýva, že na vstupe do analógového vstupu bude napätie 4,22 V.

- Na konektor K10-2 pripoj kladný pól regulovateľného zdroja a záporný pól na K10-1.
- Na regulovateľnom zdroji nastav napätie 12 V s prúdovým obmedzením 0,5 A.
- Pripoj rezistor 5R medzi signály K1 – 19 so signálom K2 – 37.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 21.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 27.
- Pripoj multimeter na pin U16 – 3. Napätie U16 - 3 musí byť 4,1 – 4,3 V.
- Odpoj rezistor.
- Vypni zdroj.

Overenie funkcie snímača prúdu + kalibrácia

Prúd, ktorý je odoberaný jednotkou, je snímaný prúdovým bočníkom. Overenie bloku spočíva v skratovaní signálov Vin a PGND za účelom merania úbytku napätia, ktorý vzniká tečúcim prúdom. Napätie je následne zosilnené zosilňovačom INA195AIDBVR, ktorého zosilnenie je 100 V/V. Na konektor K4 je následne pripojený zdroj v režime konštantného prúdu. Namerané hodnoty sú následne porovnané s teoreticky vypočítanými hodnotami. Napätie na výstupe prúdového zosilňovača je priamoúmerné odporu prúdového bočníka, pretekajúceho prúdu a zosilnenia zosilňovača. Z nameraných hodnôt, ktoré zobrazuje graf na obrázku 7.1 je možné vidieť nelineárny priebeh výstupného napätia do hodnoty približne 1,2 A.



Obr. 7.1: Nelinearita prúdového snípača

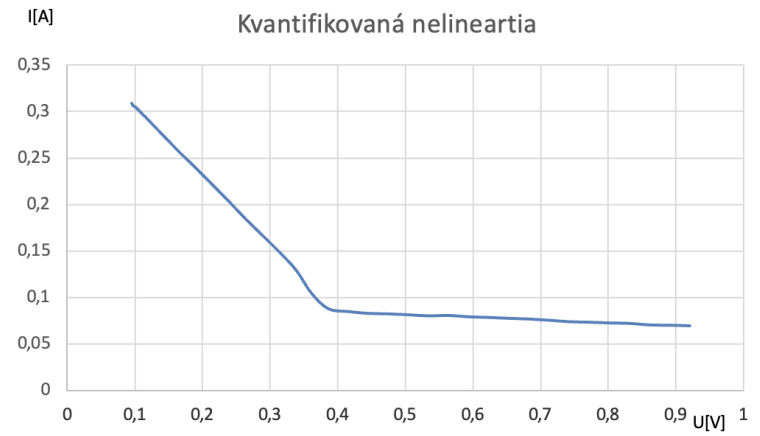
Nelinearita je kvantifikovaná na grafe, ktorý zobrazuje obrázok 7.1. Na obrázku 7.1 je rozdiel v napätiach medzi meraným a vypočítaným prúdom.

Aby bola zachovaná vysoká presnosť merania, bude potrebné meranie kalibrovať. Na základe predchádzajúcich grafov je možné rozdeliť interval na dve lineárne priamky. Pre prúdy od 0 do 1,2 A, čomu zodpovedajú merané napätia od 0 do 0,4 V bude prúd vypočítaný na základe kalibračnej priamky, ktorá bude určená z nameraných hodnôt. Následne pre prúdy od 1,2 až po 30 A, ktorým zodpovedá napätie 0,4 až 9 V, bude prúd určovaný na základe pôvodného vzťahu.

Výpočet kalibračnej priamky

Smernica priamky je vypočítaná podľa vzorca pre lineárnu regresiu z nameraných hodnôt. Dáta spolu s výpočtami sa nachádzajú v tabuľke č. 7.3

Z výpočtov vyplýva smernica priamky $y = 4,081 - 0,3807 [69]$. Nasledujúci graf zobrazuje porovnanie meraných prúdov oproti prúdom, ktoré boli vypočítané podľa



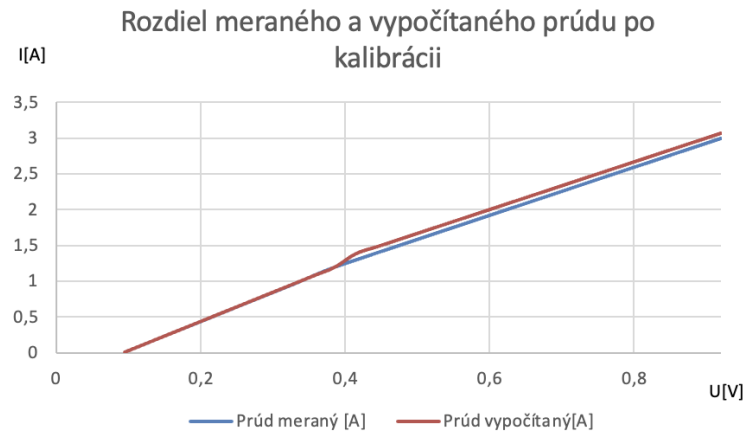
Obr. 7.2: Kvantifikovaná nelinearita prúdového snímača

X			Y		
U - mer M16 V	AVG(X) - X	(AVG(X) - X) ²	I - mer A	AVG(Y) - Y	AVG(X) - X*AVG(Y) - Y
0,0955	0,09387	0,008811577	0,009545	0,38266386	0,035920656
0,0976	0,09177	0,008421733	0,019289	0,37291986	0,034222855
0,1004	0,08897	0,007915661	0,029554	0,36265486	0,032265403
0,1028	0,08657	0,007494365	0,039288	0,35292086	0,030552359
0,1054	0,08397	0,007050961	0,049566	0,34264286	0,028771721
0,1077	0,08167	0,006669989	0,059345	0,33286386	0,027184991
0,1103	0,07907	0,006252065	0,069589	0,32261986	0,025509552
0,1126	0,07677	0,005893633	0,079347	0,31286186	0,024018405
0,1153	0,07407	0,005486365	0,089698	0,30251086	0,022406979
0,1176	0,07177	0,005150933	0,099355	0,29285386	0,021018121
0,1421	0,04727	0,002234453	0,19941	0,19279886	0,009113602
0,1666	0,02277	0,000518473	0,29947	0,09273886	0,002111664
0,1913	-0,00193	3,7249E-06	0,399	-0,0067911	1,31069E-05
0,2159	-0,02653	0,000703841	0,49913	-0,1069211	0,002836618
0,2405	-0,05113	0,002614277	0,59921	-0,2070011	0,010583968
0,2648	-0,07543	0,005689685	0,69875	-0,3065411	0,023122398
0,2896	-0,10023	0,010046053	0,79887	-0,4066611	0,040759646
0,3143	-0,12493	0,015607505	0,89895	-0,5067411	0,063307171
0,3386	-0,14923	0,022269593	0,99902	-0,6068111	0,090554427
0,36143	-0,17206	0,029604644	1,1	-0,7077911	0,121782544
0,38644	-0,19707	0,038836585	1,2	-0,8077911	0,159191401
AVG X			AVG Y		
0,18937			0,39220886		
sum (AVG(X) - X) ²		0,197276114			
sumAVG(X) - X*AVG(Y) - Y		0,805247588			
y = ax + b					
a		4,0818301			
b		-0,380767			

Tab. 7.3: Kalibrácia prúdového snímača

návrhu z predchádzajúcej časti. Napätia do 0,4 V boli transformované na prúd pomocou kalibračnej priamky a z napätí nad 0,4 V boli vypočítané hodnoty prúdov na základe pôvodného vzťahu. Na grafoch je možné si všimnúť, že sa podarilo chybu v kalibrovannej časti dostať na úroveň blízku nule a pre prúdy nad 1,2 A chyba merania

napätia zostala na úrovni 0,1 V.



Obr. 7.3: Chyba prúdového snímača po kalibrácii

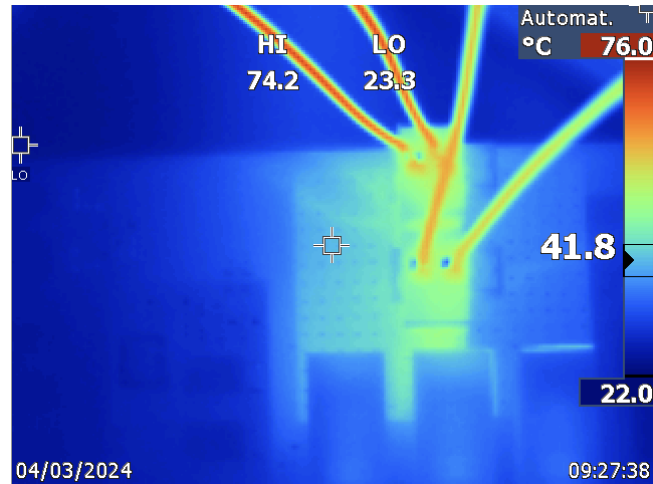


Obr. 7.4: Kvantifikovaná nelinearita prúdového snímača po kalibrácii

Teplotné skúšky DPS

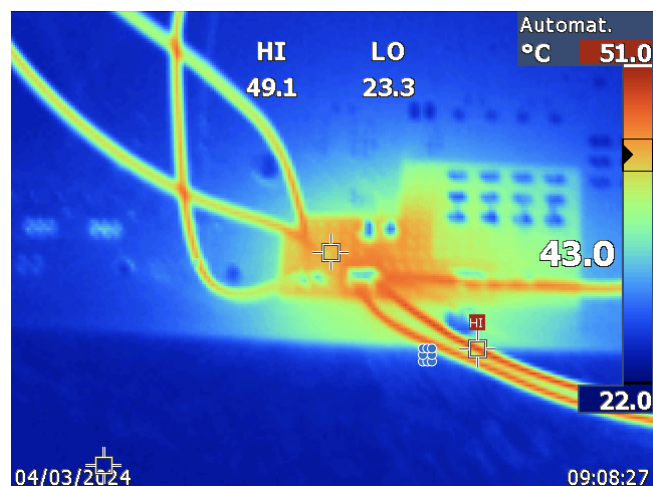
V kapitole návrhu layout DPS boli vypočítané šírky ciest pre pripojenie napájania a pripojenie štartér-generátora. Pri testoch so štartér-generátorom, v obidvoch týchto prípadoch, budú cez DPS tiecť tiecť prúdy 16 a 30 A. Prúd o takejto veľkosti vytvára pri priechode teplo, ktoré môže DPS nenávratne poškodiť. Test bol prevedený na jednej z DPS, ktorá bola čiastočne osadená tak, že v prvom prípade sa v obvode nachádzali relé a v druhom 30 A teste boli relé, ktoré sa v obvode nachádzajú, kvôli nedostatku, skratované vodičmi a prívodné vodiče boli cez konektory pripojené

k zdroju konštantného prúdu. Pri oboch testoch je predpoklad že čas, pri ktorom bude DPS vystavená najvyššej záťaži bude okolo jednej minúty. V prvom prípade bol zdroj konštantného prúdu nastavený na 15 A a pripojený na DPS. Počas testu bola DPS monitorovaná termo-kamerou a po 15 minútach záťaže bola teplota zafážovanej cesty na úrovni približne 50 °C.



Obr. 7.5: Oteplenie cesty spínania motoru

Testovanie cesty pre pripojenie napájania prebiehalo pripojením konštantného zdroja prúdu nastaveného na 32 A. Teplota bola rovnako monitorovaná termokamerou a po 15 minútach bola teplota DPS okolo 43 °C

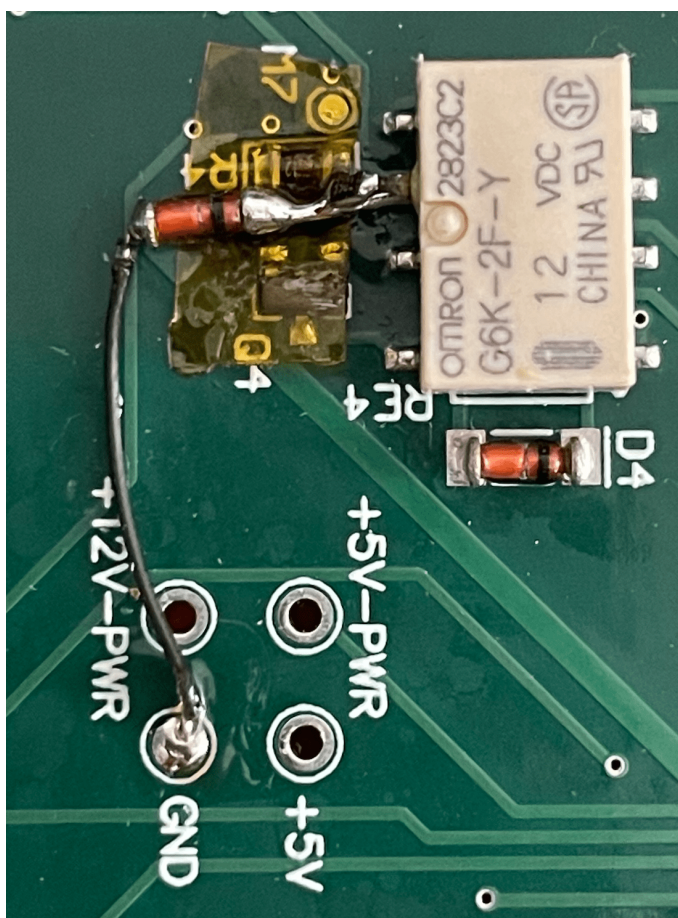


Obr. 7.6: Oteplenie cesty spínania pripojenia napájania

8 Poznatky z oživenia

Pri oživovaní DPS bolo zistených pár malých nedostatkov, ktoré neboli zistené pri schématickom návrhu. Na rozdiel od SW návrhu, v ktorom je možné návrh pomerne jednoducho opraviť, je nedostatky zistené po vyrobení DPS možné napraviť dvomi spôsobmi. Úpravou schémy a novou revíziou DPS, alebo opatrne vykonanými úpravami priamo na DPS.

Napätie na vstupe analógovej karty



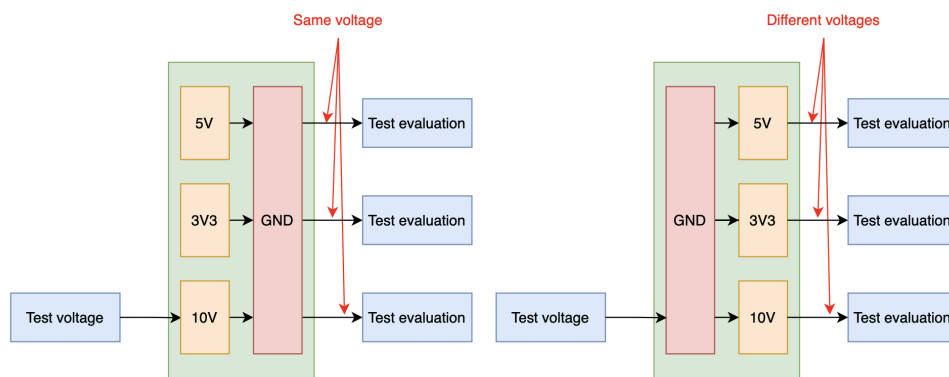
Obr. 8.1: Implementovaná úprava vstupu analógovej karty

Po odpojení rezistora, ktorý simuluje zbernicu CAN, je na vstupe operačného zosilňovača 12 V, pretože obvod je rozpojený a prúdový zdroj sa pokúša pretlačiť prúd ďalej do obvodu zvýšením napätia na maximum. Vstup operačného zosilňovača je v tomto momente saturovaný a na výstupe zosilňovača je 12 V. Takéto napätie je pre analógovú kartu MCC USB-231 vysoké. Táto chyba v schéme ostala ako pozostatok z pôvodného návrhu, kedy bolo napájanie TPR realizované z 10 V a simuláciami

bolo overené, že pri napájaní z 10 V, výstup operačného zosilňovača saturuje na hodnote 9,63 V. Pri následných zmenách boli kvôli prúdovému odberu vymenené 5 V relé za 12 V a tým pádom úplne odstránená 10 V vetva. Riešením tejto situácie bolo pridanie 9,3 V Zenerovej diódy do série s rezistorom na výstup operačného zosilňovača. Prúd diódou bol nastavený 6,17 mA použitím 470 Ω rezistoru.

Spoločný výstup bloku Open-short detection

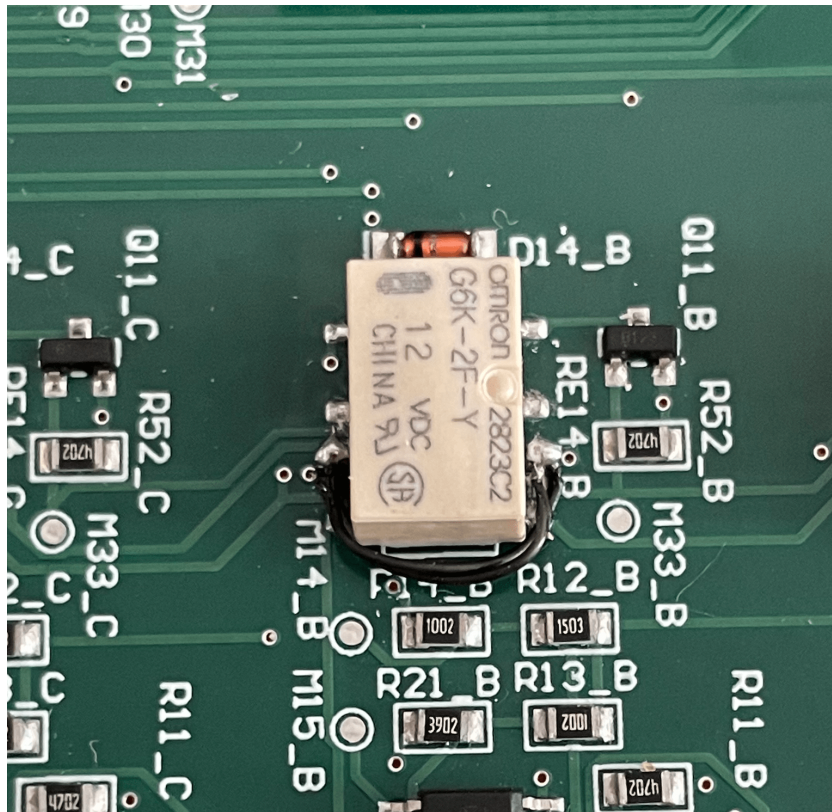
Pri oživovaní blokov, ktoré určujú prítomnosť skratu na napätových vetvách bolo zistené, že po pripojení rezistoru, ktorý simuluje danú napätovú vetvu, bolo výstupné rovnaké napätie merateľné aj na ostatných vstupoch. Pre príklad to, že v prípade overovania skratu na na vetve +10V DPS BEMC v bode M36C bolo rovnaké napätie aj v bodoch M36A a M36B. Príčinou bolo meranie výstupu signálu na spoločnom potenciáli GND. Na nasledujúcom obrázku je znázornená príčina aj s riešením, ktorým bola zmena polaroty pripájanej vetvy.



Obr. 8.2: Bloková schéma úpravy skratov a rozpojenia

Saturovaný operačný zosilňovač

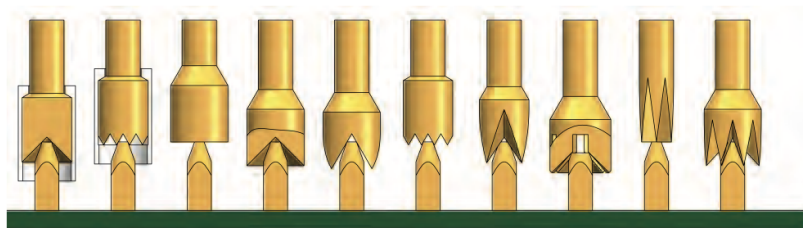
Pri oživovaní bloku na overenie priechodnosti zbernice CAN bolo zistené, že operačný zosilňovač je saturovaný aj v prípade, kedy by nemal byť. Hľadaním príčiny bolo zistené, že v schématickom návrhu boli z dôvodu kopírovania pripojené vstupy operačného zosilňovača naopak. Riešením bolo opatrné nadvihnutie nožičiek operačného zosilňovača a pomocou tenkých vodičov boli pripojené správnym vstupom.



Obr. 8.3: Implementovaná úprava skratov a rozpojenia

9 Návrh vnútornej kabeláže

Pripojenie testovacích DPS k zariadeniu je realizované skrz ihličkové pole, v ktorom každá ihla dosadá na konektor alebo merací bod. Ku každej ihle je pripojený vodič, ktorý je vyvedený na konektorový blok, z ktorého sú vyvedené konektory do testovacích DPS. Na obrázku sú zobrazené typy ihiel pre kontaktovania THT konektorov.



Obr. 9.1: Ukážka testovacích ihiel [46]

Vnútrotná kabeláž sa skladá z káblových zväzkov, ktoré boli navrhnuté tak, aby prepájali testované dosky s testovacím zariadením, meracie prístroje spolu a zdrojmi s testovacími DPS a ovládacie PC spolu s testovacím zariadením. Zariadenie TJP1 je zložené celkovo z 29 káblových zväzkov. V tabuľke 9.1 sú popísané káblové zväzky spolu so stranami, ku ktorým sú pripájané.

V stĺpci strana 1 sa nachádza prvá strana pripojeného zariadenia a v stĺpci strana 2 sa nachádza druhá strana, do ktorej smeruje daný káblový zväzok. V prípade, že sa jedná o DPS BEMP, alebo BEMC, tak skratka IP znamená, že sa jedná o kabeláž, ktorá je pripojená cez ihličkové pole. Keď má káblový zväzok na jednej strane panel, tak je káblový zväzok vyvedený na zadnú časť zariadenia do ktorej sa pripájajú externé zariadenia. Keď je káblový zväzok ukončený do interface bloku znamená to, že je vyvedený do spoločného konektora na zadnej strane testovacej fixtúry, ktorá sa pomocou protikusu pripája cez interface blok spolu v vymeniteľnou kazetou, ako je to zobrazené na obrázku 9.2

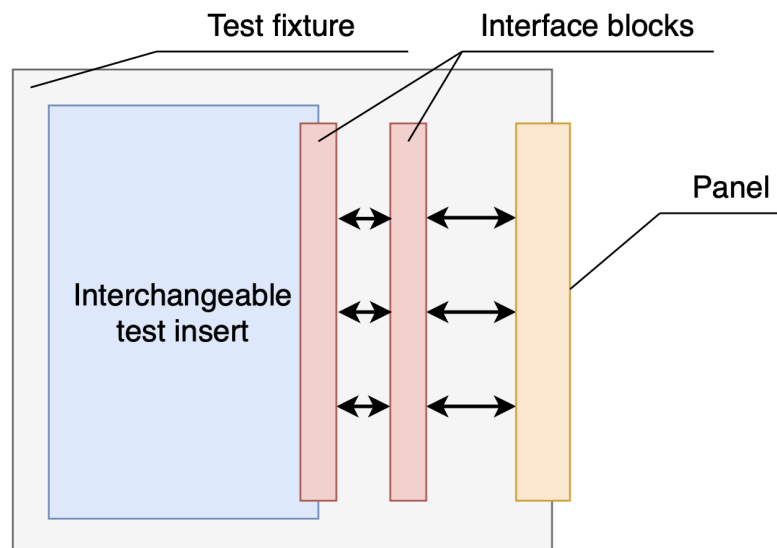
Súčasťou návrhu TJP1 sú dokumenty, ktoré obsahujú špecifikáciu celej kabeláže, spolu s návrhom tabuľky, v ktorej je popísané, ktoré piny konektoru sú kam pripojené.

Tabuľka 9.2 popisuje číslovanie pinov v káblovom zväzku CB12a CB12b.

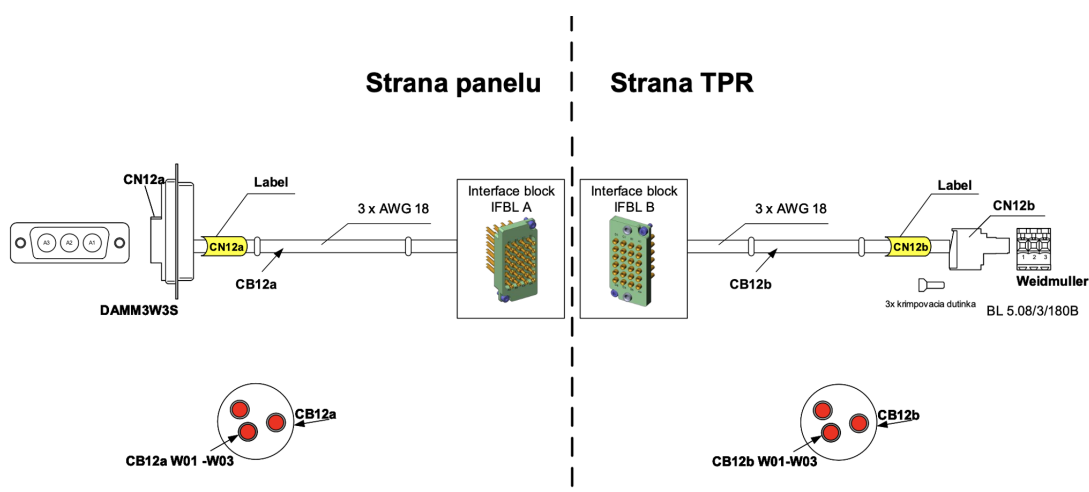
V prílohe sa nachádza dokumentm ktorý obsahuje špecifikáciu všetkých káblových zväzkov a tabuľka číslovania všetkých pinov. Na základe tejto špecifikácie bude externou firmou na zákazku vyrobená a dodaná testovacia fixtúra spolu s vnútrotnou kabelážou.

Káblový zväzok	Strana 1	Strana 2	Počet vodičov
CB01	IP BEMP	BINT P1	8
CB02	IP BEMP	BINT P2	8
CB03	IP BEMP	BINT P3	14
CB04	IP BEMC	BINT C1	8
CB05	IP BEMC	BINT C2	8
CB06	IP BEMC	BINT C3	14
CB07	BINT	BTES	36
CB08	IP BEMP/BEMC	BTES	24
CB09	MCC USB-1024	BTES	34
CB10	MCC USB-231	BTES	29
CB11	IP BEMP	BTES K3	3
CB12a	Panel	Interface blok	3
CB12b	Interface blok	BTES K11	3
CB13a	Interface blok	BTES K6	6
CB13b	Panel	Interface blok	4
CB13c	Panel	Interface blok	2
CB14a	Panel	Interface blok	8
CB14b	Interface blok	BTES K4, K5, K10	8
CB15a	Panel	Interface blok	2
CB15b	Interface blok	BTES K8	2
CB16a	Panel	Interface blok	2
CB16b	Interface blok	BTES K9	2
CB17a	Panel	Interface blok	4
CB17b	Interface blok	MCC USB-231	4
CB18a	Panel	Interface blok	4
CB18b	Interface blok	MCC USB-1024	4
CB19a	Panel	Interface blok	8
CB17b	Interface blok	JTAG	8
CB20	IP BEMP	BTES K7	4

Tab. 9.1: Tabuľka prepojenia káblových zväzkov



Obr. 9.2: Zobrazenie častí testovacej fixtúry



Obr. 9.3: Ukážka grafickej špecifikácie káblového zväzku

Potisk	Vodič	Strana 1.1		Strana 1.2		Strana 2.1		Strana 2.2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin
CB12a.W01, CB12b.W01	AWG 18	CN12a	A1	IFBL A	1	IFBL B	1	CN12b	1
CB12.W02, CB12b.W02	AWG 18	CN12a	A2	IFBL A	2	IFBL B	2	CN12b	2
CB12.W03, CB12b.W03	AWG 18	CN12a	A3	IFBL A	3	IFBL B	3	CN12b	3

Tab. 9.2: Ukážka číslovania pinov káblového zväzku

Záver

Cielom diplomovej práce bolo navrhnuť testovacie zariadenie na riadiacu jednotku E040. Práca je rozčlenená do jednotlivých kapitol. V prvej časti je popísaný aktuálny proces výroby a testovania, priblížená funkcia a riadenie BLDC motora, popísané súčasné testovacie procesy a navrhnuté nové procesy pre testovacie zariadenie. Ďalej som sa v teoretickej časti venoval popisu výroby a osadenia DPS a defektom, ktoré môžu pri výrobe nastať a tiež aj postupom, ako ich odhaliť. V nadväznosti na analýzu som definoval požiadavky na nové zariadenie, ktoré je súčasťou diplomovej práce. Ako súčasť práce som vytvoril dokumenty testovacie prípady a testovacie procedúry, ktoré detailne popisujú potreby testovania EUT. Z testovacích procedúr som následne vytvoril schématický návrh, z ktorého som vytvoril návrh layout dosiek plošných spojov. Návrh spolu výpočtami a analýzami je popísaný v samostatnej kapitole, čo umožňuje lepšie pochopenie procesu a použitých metód pri navrhovaní zariadenia. Zariadenie sa skladá z dvoch testovacích dosiek plošných spojov. Zariadenie TJP1 je navrhnuté tak, aby bolo schopné vykonávať zároveň výrobné aj funkčné testy. Pred započatím funkčných testov bolo v predchádzajúcom testovacom zariadení potrebné prepojiť DPS navzájom. Toto prepojenie bolo robené prispájkovaním DPS ešte pred vyhodnotením testov. Táto metóda neumožňovala následnú opravu dosiek ak bola zistená vada pri testovaní. Pre to bola zvolená architektúra zariadenia s dvomi testovacími DPS ktorá umožňuje rozoberateľné spojenie pred ukončením testov. Aby bolo možné zachovať čo najmenšiu vzdialenosť medzi testovanými DPS bola DPS BINT umiestnená do strednej časti zariadenia. V nasledujúcej kapitole sa nachádza postup ako overiť správnu funkciu zariadenia spolu so záznamom z oživenia. Súčasťou zariadenia je návrh vnútornej kabeláže z ktorej niektoré zväzky som vyrobil za účelom oživenia zariadenia. Testovacie zariadenie prináša výhody v oblasti spoľahlivosti a urýchľuje proces testovania. Pri automatizovanom testovaní zariadením TJP1 je predpokladaný čas testovania jedného modulu na 25 minút oproti manuálnemu testovaniu ktoré zaberie až 6 hodín. Aktuálne je zariadenie oživené na základe funkčných blokov, teda som otestoval že všetky bloky sa v realite správajú tak ako sú v práci popísané. V tomto momente sa čaká na dodanie mechanickej zástavby externou firmou, aby bolo možné k zariadeniu pripojiť testované DPS a začať s testovaním jednotky. Ďalším krokom pred začatím testovania je návrh softvérového riešenia ktoré bude implementované do meracích kariet. Návrh bude vytvorený na základe dokumentu testovacích procedúr. Ako súčasť návrhu som vytvoril dokumenty špecifikácia vnútornej kabeláže, špecifikácia konektorov a oživovací postup ktoré sú potrebné na to aby mohlo byť zariadenie používané. S diplomovou prácou som sa zúčastnil konferencie EEICT v ktorej som získal 2. miesto v kategórii Industrial Automation, Instrumentation and Engineering.

Literatúra

- [1] PBS Velká Bíteš, a. s. *Proudový motor PBS TJ40-G1*. Online. Dostupné z: <https://www.pbs.cz/cz/Letectvi/Letecke-motory/Proudovy-motor-PBS-TJ40-G1>. [cit. 2023-10-01].
- [2] Unis, a. s. *Technická špecifikácia riadiacej jednotky E040* Interný dokument spoločnosti Unis, a. s.
- [3] Unis, a. s. *Osazovací predpis DPS BEMP* Interný dokument spoločnosti Unis, a. s.
- [4] Unis, a. s. *Osazovací predpis DPS BEMC* Interný dokument spoločnosti Unis, a. s.
- [5] ORIENTAL MOTOR *Brushless DC Motor vs. AC Motor vs. Brushed Motor*. Online. Dostupné z: <https://www.orientalmotor.com/brushless-dc-motors-gear-motors/technology/AC-brushless-brushed-motors.html>. [cit. 2023-11-16].
- [6] OHIO ELECTRIC MOTOR INC. *Brushless DC Motors Used in Industrial Applications*. Online. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20121104003748/http://www.ohioelectricmotors.com/brushless-dc-motors-used-in-industrial-applications-1617>. [cit. 2023-12-16].
- [7] Hadex, spol. s r.o. *Motor A2212/15T bezkartáčový outrunner, 930kV*. Online. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/1741a-motor-a221215t-bezkartacovy-outrunner-930kv/>. [cit. 2023-12-11].
- [8] TRAUTMANN, R. *Brushless Inrunner vs Outrunner motor*. Online In: Radio control info Dostupné z: <https://www.radiocontrolinfo.com/brushless-inrunner-vs-outrunner-motor/>. [cit. 2023-12-11].
- [9] VEX ROBOTICS *Brushed vs. Brushless*. Online In: VEX robotics Dostupné z: https://www.vexrobotics.com/brushed-brushless?___store=vexroboticseu&___from_store=motors. [cit. 2023-12-15].
- [10] EMETOR *Brushless DC machine*. Online In: EMETOR Dostupné z: <https://www.emetor.com/glossary/brushless-dc-machine/#>. [cit. 2023-12-19].
- [11] MILLER, L. *Electric Motor Numbers: What Do They Mean?*. Online In: LUCIENMILLER Dostupné z: <https://lucienmiller.wordpress.com/author/lucienmiller/>. [cit. 2023-12-27].

- [12] BALOGH, L. *Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits*. Online In. Texas Instruments Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ml/slua618a/slua618a.pdf>. [cit. 2023-12-02].
- [13] SOLOLEV, A. a PETROVA, A. *BLDC Motor Controller: How It Works, Design Principles & Circuit Examples*. Online In. Integra sources Dostupné z: <https://www.integrasources.com/blog/bldc-motor-controller-design-principles/>. [cit. 2023-12-02].
- [14] BARRERA, A. *Delay and Dead Time in Integrated MOSFET Drivers*. Online In. Texas Instruments Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/an/slvaf84/slvaf84.pdf?ts=1704108485063>. [cit. 2023-12-23].
- [15] NORDIC SEMICONDUCTOR *How to set up PWM dead time at the end of period*. Online In. DevZone [Nordic Q&A] Dostupné z: <https://devzone.nordicsemi.com/f/nordic-q-a/55568/how-to-set-up-pwm-dead-time-at-the-end-of-period>. [cit. 2023-12-23].
- [16] ASHLEY, E. *What is MOSFET? A detailed guide on MOSFET*. Online In. RS DESIGN SPARK Dostupné z: <https://www.rs-online.com/designspark/what-is-mosfet-a-detailed-guide-on-mosfet>. [cit. 2024-01-02].
- [17] BALOGH, L. *Design and application guide for high speed MOSFET gate drive circuits*. Online In. Wayback machine Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20131215000411/http://www.ti.com/lit/ml/slup169/slup169.pdf>. [cit. 2023-12-02].
- [18] ZIKODRIVE *How does back-EMF control of sensorless brushless motors work and what brushless motor controllers do I need to use this*. Online In. ZIKODRIVE Dostupné z: <https://zikodrive.com/uFAQs/back-emf-control-sensorless-brushless-motors-work-brushless-motor-controller> [cit. 2023-11-16].
- [19] COLLINS, D. *What is trapezoidal back EMF*. Online In. Motion Control Tips Dostupné z: <https://www.motioncontroltips.com/faq-trapezoidal-back-emf/>. [cit. 2023-11-12].
- [20] PARSONS, R. *Why most hobby grade BLDC out runners are actually permanent magnet synchronous motors (PMSM)*. Online In. Things in motion Dostupné z: <https://things-in-motion.blogspot.com/2018/12/why-most-hobby-grade-bldc-out-runners.html>. [cit. 2023-11-12].

- [21] ONSEMI *Trapezoidal Control of BLDC Motors*. Online In. ONSEMI Dostupné z: <https://www.onsemi.com/company/news-media/blog/industrial-cloud-power/trapezoidal-control-of-blcdc-motors>. [cit. 2023-12-11].
- [22] HALVAEI, A. a VAHEDI, A. a MOGHBELI, H. *Torque control of brushless DC motor drive based on DSP technology (2007)*. 524 - 528. 10.1109/ICEMS.2007.4412018 Online In. Research Gate Dostupné z: <https://things-in-motion.blogspot.com/2018/12/why-most-hobby-grade-blcdc-out-runners.html>. [cit. 2023-12-11].
- [23] COLLINS, D. *What is sinusoidal commutation for dc motors*. Online In. Motion control tips Dostupné z: <https://www.motioncontroltips.com/what-is-sinusoidal-commutation-for-dc-motors/>. [cit. 2023-12-20].
- [24] ADVANCED MOTION CONTROL *Sinusoidal commutation*. Online In. ADVANCED MOTION CONTROL Dostupné z: <https://www.a-m-c.com/experience/technologies/commutation/sinusoidal/>. [cit. 2023-12-20].
- [25] PCBCART *PCB Manufacturing Process — A Step-by-Step Guide*. Online In. PCBCART Dostupné z: <https://www.pcbcarter.com/article/content/PCB-manufacturing-process.html>. [cit. 2023-12-16].
- [26] ALTIUM DESIGNER *Defining the Via Types for Use with Your Board in Altium Designer*. Online In. ALTIUM Dostupné z: <https://www.altium.com/documentation/altium-designer/defining-via-types?version=19.0>. [cit. 2023-12-16].
- [27] 7PCB *Gerber files in PCB Manufacturing*. Online In. 7PCB Dostupné z: <https://www.7pcb.com/blog/gerber>. [cit. 2023-12-17].
- [28] FRALOCK *POLYIMIDE FLEX CIRCUITS, CABLES AND HEATERS*. Online In. FRALOCK Dostupné z: <https://www.fralock.com/engineered-solutions/flex-rigid-flex-solutions/>. [cit. 2023-12-18].
- [29] DAS, S. *SMT Pick and Place Machine*. Online In. Electronics and you Dostupné z: <https://www.electronicandyou.com/blog/smt-pick-and-place-machine.html>. [cit. 2023-12-26].
- [30] RND COMPONENTS *Thick Film SMD Resistors, 0805, Reel*. Produkt Online In. DISTRELEC Dostupné z: <https://www.distrelec.nl/en/thick-film-smd-resistor-0805-2kohm-125mw-roll-of-5000-pieces-rnd-rnd-1550805/p/30109372>. [cit. 2023-12-26].

- [31] GEOSPACE TECHNOLOGIES *PCB SOLDERING DEFECTS*. Online In. GEOSPACE TECHNOLOGIES Dostupné z: <https://geospacemfg.com/blog/pcb-soldering-defects/>. [cit. 2023-10-10].
- [32] SPARKFUN *SMD How To - 2*. Online In. SPARKFUN Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/tutorials/96/>. [cit. 2023-10-12].
- [33] EURO CIRCUITS *What is Tombstoning?*. Online In. EURO CIRCUITS Dostupné z: <https://www.eurocircuits.com/pcb-assembly-guidelines/tombstoning/#top>. [cit. 2023-10-13].
- [34] MACHINA SPECULATRIX *Adventures in SMD soldering – part 2: hot air*. Online In. Mansfield-devine Dostupné z: <https://mansfield-devine.com/speculatrix/2018/05/adventures-in-smd-soldering-part-2-hot-air/>. [cit. 2023-10-13].
- [35] CADENCE PCB SOLUTIONS *What Causes Solder Ball Formation During SMD Reflow?*. Online In. CADENCE PCB SOLUTIONS Dostupné z: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/what-causes-solder-ball-formation-during-smd-reflow>. [cit. 2023-10-13].
- [36] COGNEX *ELECTROSTATIC DISCHARGE SAFETY*. Online In. COGNEX Dostupné z: <https://www.cognex.com/industries/electronics/electrostatic-discharge-safety>. [cit. 2023-10-13].
- [37] SEEEDSTUDIO *7 Most Popular PCB Testing Methods During Manufacturing and Assembly*. Online In. SEEEDSTUDIO Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/blog/2021/06/18/7-most-popular-pcb-testing-methods-during-manufacturing-and-assembly/>. [cit. 2023-10-14].
- [38] OLSON, J. *Circuit Board Design for In-Circuit Testers*. Online In. Altium Dostupné z: <https://resources.altium.com/p/circuit-board-design-circuit-testability>. [cit. 2023-10-14].
- [39] Unis, a. s. *Výrobný postup jednotky E040* Interný dokument spoločnosti Unis, a. s.
- [40] Unis, a. s. *Technická špecifikácia testovacieho zariadenia TPR_E040_NI* Interný dokument spoločnosti Unis, a. s.
- [41] Unis, a. s. *Schématický návrh dosky plošných spojov BEMP* Interný dokument spoločnosti Unis, a. s.

- [42] Unis, a. s. *Schématický návrh dosky plošných spojov BEMC* Interný dokument spoločnosti Unis, a. s.
- [43] Linear technology *LT1776 Wide Input Range, High Efficiency, Step-Down Switching Regulator*. Online In. Analog Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/1776fs.pdf>. [cit. 2023-12-09].
- [44] Linear technology *45V VIN, Micropower, Low Noise, 200mA LDO*. Online In. Analog Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/3062fa.pdf>. [cit. 2023-12-09].
- [45] NXP *KTY82 series - Silicon temperature sensors*. Online In. NXP Dostupné z: https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/KTY82_SER.pdf. [cit. 2023-12-09].
- [46] Ingun *Manual test fixture MA 2009/D/H*. Online In. Ingun Dostupné z: <https://ingun.com/en-GB/MA-2009-D-H/105127>. [cit. 2023-12-22].
- [47] Omron *Omron Surface Mounting Relay G6K-2F-Y-DC12*. Online In. Components Omron Dostupné z: https://components.omron.com/us-en/sites/components.omron.com.us/files/datasheet_pdf/K106-E1.pdf. [cit. 2023-12-24].
- [48] Components 101 *Safeguarding Circuits: The Essential Guide to Flyback Diodes*. Online In. Components 101 Dostupné z: <https://components101.com/articles/safeguarding-circuits-essential-guides-to-flyback-diodes>. [cit. 2023-12-26].
- [49] Infineon *IRLML0030TRPbF HEXFET MOSFET*. Online In. 4donline Dostupné z: <https://4donline.ihs.com/images/VipMasterIC/IC/INFN/INFN-S-A0012490439/INFN-S-A0012905114-1.pdf?hkey=6D3A4C79FDBF58556ACFDE234799DDF0>. [cit. 2024-01-03].
- [50] TE Connectivity / AMP *AMPLIMITE Subminiature D Connectors*. Online In. Mouser Dostupné z: https://cz.mouser.com/datasheet/2/418/9/ENG_CS_82068_AMPLIMITE_Straight_Posted_Conns_0412-3352143.pdf. [cit. 2024-01-03].
- [51] DigiKey *PCB Trace Width Calculator*. Online In. DigiKey Dostupné z: <https://www.digikey.sk/en/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-pcb-trace-width>. [cit. 2024-01-03].

- [52] Texas Instruments *INA19x Current Shunt Monitor 16 V to +80 V Common-Mode Range*. Online In. Texas Instrument Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina195.pdf?ts=1715344096142&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FINA195%252Fpart-details%252FINA195AIDBVR%253Futm_source%253Dgoogle%2526utm_medium%253Dcpc%2526utm_campaign%253Docb-tistore-promo-asc_opn_en-cpc-storeic-google-wwe%2526utm_content%253DDevice%2526ds_k%253DINA195AIDBVR%2526DCM%253Dyes%2526gad_source%253D1%2526gclid%253DCjwKCAjwi_exBhA8EiWA_kU1MhGEdehjFcT3UKDz8KUSM5mzMht8ACtmh5xqocSTfIgZC4CEyFDDR0CC0wQAvD_BwE%2526gclidsrc%253Daw.ds. [cit. 2024-01-08].
- [53] Weidmüller *BL/SL 3.50 series BL 3.50/04/180 SN OR BX*. Online In. TME Dostupné z:<https://www.tme.eu/Document/c41addc52a12e705ed65dab8dd48a938/BL3.54SNOR-DTE.pdf>. [cit. 2024-01-08].
- [54] MC Measurement Computing *USB-230 Series 16-Bit Multifunction DAQ Devices*. Online In. Digilent Dostupné z: https://files.digilent.com/datasheets/USB-230-Series-data.pdf?_gl=1*wkie5p*_ga*Mzg0MDI4MDU2LjE3MTE2MzIxMDM.*_ga_JSPEFFCPBT*MTcxMTYzMjEwMy4xLjEuMTcxMTYzMjEzMC4zMjY4wLjA.&_ga=2.184525542.1746543116.1711632103-384028056.1711632103. [cit. 2024-01-08].
- [55] MC Measurement Computing *USB Digital I/O USB-DIO24 Series and USB-1024 Series*. Online In. Digilent Dostupné z: https://files.digilent.com/datasheets/DS-USB-DIO.pdf?_gl=1*1tliwp2*_ga*Mzg0MDI4MDU2LjE3MTE2MzIxMDM.*_ga_JSPEFFCPBT*MTcxMTYzNTE0My4yLjEuMTcxMTYzNTE3Mi4zMjY4wLjA.&_ga=2.188108264.1746543116.1711632103-384028056.1711632103. [cit. 2024-01-08].
- [56] Texas Instruments *TPS7B4253-Q1300-mA40-VLow-Dropout Voltage-TrackingLDOWith4-mVTracking Tolerance*. Online In. Texas Instrument Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps7b4253-q1.pdf?ts=1715284848417>. [cit. 2024-01-08].
- [57] Kingbright *AP1608SGC 1.6 x 0.8 mm SMD Chip LED Lamp*. Online In. Mouser Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/216/AP1608SGC-29521.pdf>. [cit. 2024-01-17].

- [58] Texas Instruments *REF50xx Low-Noise, Very Low Drift, Precision Voltage Reference*. Online In. Texas Instrument Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ref5050.pdf?ts=1715333954093&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FRE5050%253Futm_source%253Dgoogle%2526utm_medium%253Dcpc%2526utm_campaign%253Dapp-null-null-GPN_EN-cpc-pf-google-wwe%2526utm_content%253DREF5050%2526ds_k%253DREF5050%2526DCM%253Dyes%2526gad_source%253D1%2526gclid%253DCjwKCAjwi_exBhA8EiwA_kU1Mhdh91EARonC7HFfv5vLWWORLYvx0fpQJYiwCD8Crc-qZpEkg5XReRoC0xgQAvD_BwE%2526gclidsrc%253Daw.ds. [cit. 2024-01-17].
- [59] Nexperia *PSSI2021SAY Constant current source in SOT353 package*. Online In. Nexperia Dostupné z: <https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/PSSI2021SAY.pdf>. [cit. 2024-01-10].
- [60] STMicroelectronics *Positive voltage regulator ICs*. Online In. STMicroelectronics Dostupné z: <https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/41/4f/b3/b0/12/d4/47/88/CD00000444.pdf/files/CD00000444.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000444.pdf>. [cit. 2024-01-10].
- [61] Texas Instruments *SNx4HC151 8-Line To 1-Line Data Selectors/Multiplexers*. Online In. Texas Instruments Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc151.pdf?ts=1715315768788&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F. [cit. 2024-01-15].
- [62] ONSEMI *N-Channel Logic Level Enhancement Mode Field Effect Transistor*. Online In. ONSEMI Dostupné z: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/bss123-d.pdf>. [cit. 2024-01-19].
- [63] Texas Instruments *TLV237x 500- μ A/Ch, 3-MHz Rail-to-Rail Input and Output Operational Amplifiers With Shutdown*. Online In. Texas Instrument Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv2372.pdf?ts=1715265326605&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.mouser.de%252F. [cit. 2024-01-23].
- [64] Omron *Low profile power relay with 15.7 mm height, ideal for incorporation in miniature equipments*. Online In. Components Omron Dostupné z: https://components.omron.com/us-en/datasheet_pdf/J117-E1.pdf. [cit. 2024-01-23].

- [65] KATIE, M. *Charge Discharge Equations (AQA A Level Physics)*. Online In. Save My Exams Dostupné z: <https://www.savemyexams.com/a-level/physics/aqa/17/revision-notes/7-fields--their-consequences/7-7-capacitor-charge--discharge/7-7-3-charge--discharge-equations/>. [cit. 2024-02-03].
- [66] Analog Devices *LTC6101/LTC6101HV High Voltage, High-Side Current Sense Amplifier in SOT-23*. Online In. Analog Devices Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ltc6101.pdf>. [cit. 2024-02-15].
- [67] Fairchild *FDMS8620*. Online In. Fairchild Dostupné z: <https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/fdms86201-d.pdf>. [cit. 2024-02-15].
- [68] Hammond manufacturing *Audio Open Frame 148 Series PC Board Mount*. Online In. Mouser Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/177/148-1390010.pdf>. [cit. 2024-02-23].
- [69] Newcastle University *Simple Linear Regression*. Online In. Newcastle University Dostupné z: <https://www.ncl.ac.uk/webtemplate/ask-assets/external/maths-resources/statistics/regression-and-correlation/simple-linear-regression.html>. [cit. 2024-04-08].

Zoznam symbolov a skratiek

VUT	Vysoké učení technické
PC	Personal computer
V	Volt
A	Ampér
°C	Stupeň celzia
BLDC	Hardware
SW	Software
TJ40	Prúdový motor vyrábaný firmou PBS Velká Bíteš, a. s.
E040	Riadiaca jednotka motoru TJ40 vyrábaná firmou Unis, a. s.
BEM	Modul elektroniky E040
BEMP	Výkonová DPS modulu BEM
BEMC	Riadiaca DPS modulu BEM
DPS	Doska plošných spojov
THT	Through hole technology
SMD	Surface mount device
ICT	In circuit testing
ATP	Acceptance test procedure
TPR	Testovací Přípravok
TC	Test case
UAV	Unmanned aerial vehicle
M	Mach
EMF	Electromotive force
EUT	Equipment under test
MOSFET	Metal oxide semiconductor field effect transistor

A/D Analógovo-digitálne
LDO Low dropout
DPDT Double Pole Double Throw
SPDT Single Pole Double Throw

Zoznam príloh

A	Testovacie prípady BEMC	116
B	Testovacie prípady BEMP	118
C	Testovacie prípady BEM	121
D	Testovacie procedúry	127
E	Schéma DPS BINT	163
F	Výrobné dáta DPS BINT	165
G	Schéma DPS BTES	166
H	Výrobné dáta DPS BTES	175
I	Špecifikácia vnútornej kabeláže TJP1	176
J	Špecifikácia konektorov TJP1	202
K	Oživovací postup DPS BTES	223
L	Zápis z oživenia	240

A Testovacie prípady BEMC

Testovacie prípady DPS BEMC				
Podmienky				
[C1]	BEMC bez napätia			
[C2]	Teplota okolia <18;30> °C			
ID	Názov	Podmienky	Vstupy	Očakávané výstupy
Overenie odporu napájacích obvodov				
BEMC-TC-0001	Obvod +5VA	[C1], [C2]	+5VA K8 <4>; GND	3,6 kΩ < R < 100 kΩ
BEMC-TC-0002	Obvod +3.3V	[C1], [C2]	+3.3V K4 <2>; GND	1,8 kΩ < R < 100 kΩ
BEMC-TC-0003	Obvod +10V	[C1], [C2]	+10V K4 <1>; GND	47 kΩ < R < 1 MΩ

B Testovacie prípady BEMP

Testovacie prípady DPS BEMP				
Podmienky				
[C1]	Teplota okolia <18;30> °C			
[C2]	BEMP bez napätia			
[C3]	Vin 12 V 2 A, pripojená záťaž 4R7 20 W			
ID	Názov	Podmienky	Vstupy	Očakávané výstupy
Overenie odporu napájacích obvodov				
BEMP-TC-0001	Obvod UGen	[C1], [C2]	UGen K1 <8>; GND	47 kΩ < R < 1 MΩ
BEMP-TC-0002	Obvod USup	[C1], [C2]	USup K5 <1>; GND	47 kΩ < R < 1 MΩ
BEMP-TC-0003	Obvod +3.3V	[C1], [C2]	+3.3V K4 <2>; GND	1,8 kΩ < R < 100 kΩ
BEMP-TC-0004	Obvod +10V	[C1], [C2]	+10V K4 <1>; GND	10 kΩ < R < 100 kΩ
Overenie odporu tranzistorov				
BEMP-TC-0005	Tranzistor Q1	[C1], [C2]	UGen K1 <8>; PHU K5 <3>	47 kΩ < R < 1 MΩ
BEMP-TC-0006	Tranzistor Q2	[C1], [C2]	PHU K5 <3>; GND	47 kΩ < R < 1 MΩ
BEMP-TC-0007	Tranzistor Q3	[C1], [C2]	UGen K1 <8>; PHV K2 <1>	47 kΩ < R < 1 MΩ
BEMP-TC-0008	Tranzistor Q4	[C1], [C2]	PHV K2 <1>; GND	47 kΩ < R < 1 MΩ
BEMP-TC-0009	Tranzistor Q5	[C1], [C2]	UGen K1 <8>; PHW K2 <2>	47 kΩ < R < 1 MΩ
BEMP-TC-0010	Tranzistor Q6	[C1], [C2]	PHW K2 <2>; GND	47 kΩ < R < 1 MΩ
BEMP-TC-0011	Tranzistor Q7, Q12	[C1], [C2]	UGen K1 <8>; QS K5 <6>	47 kΩ < R < 1 MΩ
BEMP-TC-0012	Tranzistor Q8	[C1], [C2]	QS K5 <6>; GND	47 kΩ < R < 1 MΩ

BEMP-TC-0013	Tranzistor Q9, F1	[C1], [C2]	K3 <6>; GND	47 k Ω < R < 1 M Ω
BEMP-TC-0014	Tranzistor Q10, F3	[C1], [C2]	K3 <4>; GND	47 k Ω < R < 1 M Ω
BEMP-TC-0015	Tranzistor Q11, F4	[C1], [C2]	K3 <2>; GND	47 k Ω < R < 1 M Ω
Overenie teplotného čidla				
BEMP-TC-0016	Čidlo meniča S1	[C1], [C2]	TempMen K5 <7>; GND	R = <1870; 2070> Ω
Overenie kapacity mmediobvodu				
BEMP-TC-0017	Kapacita medziobvodu			
Overenie priechodnosti zbernice CAN				
BEMP-TC-0018	CAN L	[C1], [C2]	P9; K7 <1>	R < 10 Ω
BEMP-TC-0019	CAN H	[C1], [C2]	P8; K7 <3>	R < 10 Ω
Overenie funkčnosti senzoru prúdu				
BEMP-TC-0020	Prúdový snímač U3	[C1], [C3]	I = 2A U _{sup} K5 <1>; GND I _{Men} K5 <2>; GND	0,567 ± 0,05 V
Overenie funkčnosti zdrojov				
BEMP-TC-0021	Zdroj napätia +10V U1	[C1], [C4]	+10V K4 <1>; GND	U = 7,6 až 8,4 V
BEMP-TC-0022	Zdroj napätia +3.3V U2	[C1], [C4]	+3.3V K4 <2>; GND	U = 6,4 až 6,8 V

C Testovacie prípady BEM

Testovacie prípady modulu BEM	
Podmienky	
[C0]	Prepojené dosky BEMC s BEMP
[C1]	Napätie BEM 12V 0,5 A napätie pripojené na U _{sup} P11, P11a; P10, P10a
[C2]	Teplota okolia <18;30> °C
[C3]	Hodnotu vyčítať z CAN
[C4]	Pripojiť motor, zopnúť testovacie napätie fázy U, zopnúť meranie fázy U
[C6]	Pripojiť motor, zopnúť testovacie napätie fázy U, V
[C7]	Napätie BEM 12,6 V 4 A napätie pripojené na U _{sup} P11, P11a; P10, P10a, pripojené sim. vent.
[C8]	Napätie BEM 12,6 V 4 A napätie pripojené na K1 <8> a GND K1<1>, zopnutý K5 <8>
[C9]	Napätie BEM 11,6 V 0,5 A
[C10]	Napätie BEM 14,6 V 0,5 A
[C11]	Napätie BEM 20,6 V 0,5 A, U _{sel2} prepojená
[C12]	Napätie BEM 24,6 V 0,5 A, U _{sel1} prepojená

Tabuľky

[T1]

U [V]	AD_Ph min	AD_Phmax
2,5-2,59	3067	3360
2,6-2,69	3185	3484
2,7-2,79	3304	3602
2,8-2,89	3422	3721
2,9-3,0	3541	3839

ID	Názov	Podmienky	Vstupy	Očakávané výstupy
Meranie napájacích napätí a a teplotých vstupov				
BEM-TC-0001	Meranie Usup	[C0], [C1], [C2], [C3]	Usup P11, P11a; GND P10, P10A, K5<1>	Napätia merané a vyčítané sa musia rovnať s toleranciou $12 \pm 0,7$ V
BEM-TC-0002	Prúdový odber (bez SW)	[C0], [C1], [C2]	---	$I <0,4; 0,45>$ A
BEM-TC-0003	Prúdový odber (so SW)	[C0], [C1], [C2]	---	$I <0,05; 0,1>$ A
BEM-TC-0004	Obvod +3.3V	[C0], [C1], [C2]	BEMP - +3.3V K4 <2>; GND	$U = 6,4$ až $6,8$ V
BEM-TC-0005	Obvod +10V	[C0], [C1], [C2]	BEMP +10V K4 <1>; GND	$U = 7,6$ až $8,4$ V
BEM-TC-0006	Uref	[C0], [C1], [C2]	BEMC K8 <4> ; GND	$U = 5 \pm 0,06$ V
BEM-TC-0007	Register AD Uref	[C0], [C1], [C2], [C3]	---	AD hodnota v rozsahu 3613 až 3883
BEM-TC-0008	Teplota Tair + kalibrácia	[C0], [C1], [C2], [C3]	BEMC TEMPIN K7 <4> ; GND - pripojiť 100R	$T = 0 \pm 7$ °C
BEM-TC-0009	Teplota Texh + kalibrácia	[C0], [C1], [C2], [C3]	Na pady Cr, Al pripojiť $U = 29,921$ mV $U = 2,499$ mV	$T = 719 \pm 20$ °C $T = 61 \pm 20$ °C
BEM-TC-0010	Teplota studeného konca TempCJ + kalibrácia	[C0], [C1], [C2], [C3]	---	$T = 25 \pm 7$ °C

BEM-TC-0011	Teplota Tpower + kalibrácia	[C0], [C1], [C2], [C3]	---	T = 25 ± 7 °C
Meranie fáz				
BEM-TC-0012	Meranie napätia fáz	[C0], [C1], [C2], [C3], [C4]	Napätie fázy U = 10 V na Pad P3	AD hodnota na PhU, PhV, PhW v rozsahu 1131 až 1298
BEM-TC-0013	Merane napätia fáz (odpojené napájanie)	[C0], [C1], [C2], [C3], [C5]	---	Napätie na fáze U v rozsahu 1,5 až 2,3 V
BEM-TC-0014	Merane napätia fáz (odpojené nap.), ATEN	[C0], [C1], [C2], [C3], [C5]	Aktívny ATEN	Napätie na fáze U v rozsahu 2,5 až 3 V
BEM-TC-0015	Konotrola registrov PhU, PhV, PhW	[C0], [C1], [C2], [C3], [C5]	Aktívny ATEN	Napätia na fázach podľa tabuľky
BEM-TC-0016	Kalibrácia fáz	[C0], [C1], [C2], [C3], [C4]	Napätie fázy U = 5 V, ATEN neaktívny	Nastaviť rozdiely napätiami aby boli čo najmenšie
Meranie otáčok, nadotáčková ochrana				
BEM-TC-0017	Meranie otáčok	[C0], [C1], [C2], [C3], [C6]	Nap. Fázy V 5 V. Nap. fázy U sin 0 až 10 V - 100, 1000 a 3000 Hz	100 Hz - RPM = 3000 ± 5 ot./min 1000 Hz - RPM = 30000 ± 10 ot./min 3000 Hz - RPM = 90000 ± 40 ot./min
BEM-TC-0018	Nadotáčková ochrana	[C0], [C1], [C2], [C3], [C6]	Frekvencia na U 100 až 3674 Hz	Vyhlasenie chyby od 3660 do 3674
Kontrola spínania ventíov				

BEM-TC-0019	Ventil FVS	[C0], [C1], [C2], [C3], [C7]	FVS aktívny	Odber zdroja > 0,1 A
BEM-TC-0020	Ventil FVP1	[C0], [C1], [C2], [C3], [C7]	FVP1 aktívny	Odber zdroja > 0,1 A
BEM-TC-0021	Ventil FVP2	[C0], [C1], [C2], [C3], [C7]	FVP2 aktívny	Odber zdroja > 0,1 A
Kontrola chodu motora a meniča				
BEM-TC-0022	Roztočenie štartér-generátoru	[C0], [C1], [C2], [C3], [C8]	Roztočiť motor na 5000 ot./min	n = RPM 5000 ot./min
BEM-TC-0023	Kontrola meniču 12 V	[C0], [C1], [C2], [C9]	Zopnúť signál QH Zopnúť signál QL Nastaviť U na zdroja na 14,6 V Zopnúť signál QH Zopnúť signál QL	Duty cycle > 90% U QL = 0 V Duty cycle < 10% U QL = 0 V
BEM-TC-0024	Kontrola meniču 14 V	[C0], [C1], [C2], [C3], [C10]	Prepnúť register 12/14 V na 14 V	Kontrola stavu registru cez CAN
BEM-TC-0025	Kontrola meniču 25 V	[C0], [C1], [C2], [C11]	Zopnúť signál QH Zopnúť signál QL Nastaviť U na zdroja na 28,6 V Zopnúť signál QH Zopnúť signál QL	Duty cycle > 90% U QL = 0 V Duty cycle < 10% U QL = 0 V

BEM-TC-0026	Kontrola meniču 28 V	[C0], [C1], [C2], [C12]	Zopnúť signál QH Zopnúť signál QL Nastaviť U na zdroja na 30,6 V Zopnúť signál QH Zopnúť signál QL	Duty cycle > 90% U QL = 0 V Duty cycle < 10% U QL = 0 V
-------------	----------------------	----------------------------	---	--

D Testovacie procedúry

Testovacie procedúry jednotky BEM

(Hardware Test Procedures)

OBSAH

1. Rozsah testov	4
1.1 Počiatočné podmienky BEMC	6
1.2 Počiatočné podmienky BEMP	6
1.3 Počiatočné podmienky BEM.....	6
1.4 Ukončovacie sekvencie BEM	7
1.5 Testovacie procedury BEMC	8
1.5.1 Overenie skratu a rozpojenia obvodu +5VA.....	8
1.5.2 Overenie skratu a rozpojenia obvodu +3,3V	8
1.5.3 Overenie skratu a rozpojenia obvodu +10V	9
1.6 Testovacie procedury BEMP	9
1.6.1 Overenie skratu a rozpojenia obvodu Ugen	9
1.6.2 Overenie skratu a rozpojenia obvodu Usup	10
1.6.3 Overenie skratu a rozpojenia obvodu 3,3V	10
1.6.4 Overenie skratu a rozpojenia obvodu 10V	11
1.6.5 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q1	11
1.6.6 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q2.....	12
1.6.7 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q3.....	13
1.6.8 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q4.....	14
1.6.9 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q3.....	14
1.6.10 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q6.....	15
1.6.11 Overenie skratu a rozpojenia tranzistorov D-S Q7, Q12	16
1.6.12 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q8.....	16
1.6.13 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q9 a poistky F1	17
1.6.14 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q9 a poistky F3.....	18
1.6.15 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q11 a poistky F4.....	18
1.6.16 Overenie správnosti odporu teplotného čidla meniča S1	19
1.6.17 Overenie kapacity medziobvodu	20
1.6.18 Overenie priechodnosti zbernice CAN	20
1.6.19 Overenie priechodnosti zbernice CAN	21
1.6.20 Overenie prúdového snímača.....	21
1.6.21 Overenie funkcie zdroja napätia +10V U1.....	22
1.6.22 Overenie funkcie zdroja napätia +3,3V U1.....	22
1.7 Testovacie procedúry BEM.....	23
1.7.1 Overenie prúdového odberu jednotky (bez SW)	23
1.7.2 Overenie prúdového odberu jednotky (so SW)	23
1.7.3 Overenie merania napätia Usup	23
1.7.4 Meranie obvodu napätia +3,3V	24
1.7.5 Meranie obvodu napätia +10 V	24
1.7.6 Meranie obvodu napätia Uref.....	25
1.7.7 Meranie obvodu napätia AD Uref.....	25
1.7.8 Meranie a kalibrácia teploty okolitého vzduchu	25
1.7.9 Meranie a kalibrácia teploty výfukových spalín	26
1.7.10 Meranie a kalibrácia teploty studeného konca termočlánku	27
1.7.11 Meranie a kalibrácia teploty meniča.....	27
1.7.12 Meranie napätia fáz	28
1.7.13 Meranie napätia fáz – odpojené napájanie	28
1.7.14 Meranie napätia fáz – odpojené napájanie, aktívny ATEN	28
1.7.15 Kontrola registrov PhU, PhV, PhW	29
1.7.16 Kalibrácia registrov PhU, PhV, PhW	29
1.7.17 Meranie otáčok	30

1.7.18	Nadotáčková ochrana.....	30
1.7.19	Kontrola ventilu FVS.....	31
1.7.20	Kontrola ventilu FVP1.....	31
1.7.21	Kontrola ventilu FVP2.....	32
1.7.22	Kontrola roztočenia štartér-generátoru.....	32
1.7.23	Kontrola meniču 12 V.....	32
1.7.24	Kontrola meniču 14 V.....	33
1.7.25	Kontrola meniču 25 V.....	33
1.7.26	Kontrola meniču 28 V.....	34
1.7.27	Kontrola prúdu meniču.....	35

1. Rozsah testov

Nasledujúca kapitola popisuje zostavenie testovacieho prostredia, určuje potrebné testovacie vybavenie a definuje priebeh testov, podmienok, akceptačných kritérií a výstupov. Testovanie bude prebiehať plne automaticky a výsledky testov budú zapísané do protokolu.

Zoznam vykonávaných testov

- Test DPS BEMC pri izbovej teplote (25 °C)
- Test DPS BEMP pri izbovej teplote (25 °C)
- Test modulu BEM pri izbovej teplote (25 °C)

Nasledujúce testy pozostávajú z častí testov a sú vykonávané z dôvodu overenia funkcií požadovaných technickým zadaním. V nasledujúcej tabuľke sú vypísané testy ktoré budú vykonávané. Testy vychádzajú z test case dokument. Ovládanie testovacieho hardwaru bude prebiehať pomocou dvoch kariet na spracovanie dát od výrobcu Digilent a na karty bude referované nasledujúcim spôsobom. Tab. 2 určuje sekvenčné poradie testov.

Karta MCC USB-231 – spracovanie analogových signálov a ovládanie dig. I/O – Karta A

Karta MCC USB-1024LS – na ovládanie digitálnych I/O – Karta B

Pri automatizovanom testovaní je možné testovacie prípady 5, 7, 9, 11 vykonať za sebou. Nie je nutné po každom teste odpájať meranie a požadované čakanie bude len pri teste 5 a pri testoch 7, 9, 11 je možné okamžite vyčítať výsledky. Odpojenie merania bude realizované až po vykonaní posledného testu.

Pri automatizovanom testovaní je možné testovacie prípady 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15 vykonať za sebou. Nie je nutné po každom teste odpájať meranie a požadované čakanie bude len pri teste 2 a pri testoch 3, 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15 je možné okamžite vyčítať výsledky.

ID testu	Názov testu
BEMC-TC-0001	Skrat - rozpojenie +5VA
BEMC-TC-0002	Skrat - rozpojenie +3,3V
BEMC-TC-0003	Skrat - rozpojenie +10V

Tab.1: Zoznam vykonávaných testov BEMC

ID testu	Názov testu
BEMP-TC-0001	Skrat - rozpojenie UGen
BEMP-TC-0002	Skrat - rozpojenie USup
BEMP-TC-0003	Skrat - rozpojenie +3,3V
BEMP-TC-0004	Skrat - rozpojenie +10V
BEMP-TC-0005	Skrat - rozpojenie tranzistoru D-S Q1
BEMP-TC-0006	Skrat - rozpojenie tranzistoru D-S Q2

BEMP-TC-0007	Skrat - rozpojenie tranzistoru D-S Q3
BEMP-TC-0008	Skrat - rozpojenie tranzistoru D-S Q4
BEMP-TC-0009	Skrat - rozpojenie tranzistoru D-S Q5
BEMP-TC-0010	Skrat - rozpojenie tranzistoru D-S Q6
BEMP-TC-0011	Skrat – rozpojenie tranzistorov D-S Q7, Q12
BEMP-TC-0012	Skrat - rozpojenie tranzistoru D-S Q8
BEMP-TC-0013	Skrat - rozpojenie tranzistoru D-S Q9 a poistky F1
BEMP-TC-0014	Skrat - rozpojenie tranzistoru D-S Q10 a poistky F3
BEMP-TC-0015	Skrat - rozpojenie tranzistoru D-S Q11 a poistky F4
BEMP-TC-0016	Odpor čidla měniča S1
BEMP-TC-0017	Kapacita medziobvodu
BEMP-TC-0018	Priechodnosť cesty CAN L
BEMP-TC-0019	Priechodnosť cesty CAN H
BEMP-TC-0020	Prúdový snímač U3
BEMP-TC-0021	Zdroj napätia +10V U1
BEMP-TC-0022	Zdroj napätia +3.3V U2

Tab. 1: Zoznam vykonávaných testov BEMP

BEM-TC-0001	Meranie Usup
BEM-TC-0002	Prúdový odber (bez SW)
BEM-TC-0003	Prúdový odber (so SW)
BEM-TC-0004	Obvod +3.3V
BEM-TC-0005	Obvod +10V
BEM-TC-0006	Obvod Uref
BEM-TC-0007	Register AD Uref
BEM-TC-0008	Teplota Tair + kalibrácia
BEM-TC-0009	Teplota Texh + kalibrácia
BEM-TC-0010	Teplota studeného konca TempCJ + kalibrácia
BEM-TC-0011	Teplota Tpower + kalibrácia
BEM-TC-0012	Meranie napätia fáz
BEM-TC-0013	Meranie napätia fáz (odpojené napájanie)

BEM-TC-0014	Meranie napätia fáz (odpojené nap.), ATEN
BEM-TC-0015	Konotrola registrov PhU, PhV, PhW
BEM-TC-0016	Kalibrácia fáz
BEM-TC-0017	Meranie otáčok
BEM-TC-0018	Nadotáčková ochrana
BEM-TC-0019	Ventil FVS
BEM-TC-0020	Ventil FVP1
BEM-TC-0021	Ventil FVP2
BEM-TC-0022	Beh motora
BEM-TC-0023	Kontrola meniča 12 V
BEM-TC-0024	Kontrola meniča 14 V
BEM-TC-0025	Kontrola meniča 25 V
BEM-TC-0026	Kontrola meniča 28 V
BEM-TC-0027	Kontrola prúdu meniča

Tab. 3: Zoznam vykonávaných testov BEM

1.1 Počiatočné podmienky BEMC

C1	Teplota okolia <18;30> °C
C2	BEMC bez napätia

Tab.4: Tabuľka počiatočných podmienok BEMC

1.2 Počiatočné podmienky BEMP

C1	Teplota okolia <18;30> °C
C2	BEMP bez napätia

Tab.5: Tabuľka počiatočných podmienok BEMP

1.3 Počiatočné podmienky BEM

[C1]	Teplota okolia <18;30> °C
[C2]	Nastaviť digitálny výstup DIO7 = HIGH na karte A (Prepojenie DPS BEMP a BEMC)
[C3]	Nastaviť digitálny výstup DIO2 = HIGH na karte A (Prepojenie GND TPR a BEM)
[C4]	Nastaviť digitálny výstup B1 = HIGH na karte B. (Pripojenie napájania) Nastaviť napájanie jednotky U = 12 V na AOUT0 karte A.

	Nastaviť napájanie jednotky I = 0,5 A na AOUT1 karte A.
[C5]	Nastaviť digitálny výstup B1 = HIGH na karte B. (Pripojenie napájania) Nastaviť napájanie jednotky U = 12,6 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 4 A na AOUT1 karte A.
[C7]	Napätie BEM 12,6 V 4 A napätie pripojené na Usup P11, P11a; P10, P10a, pripojené sim. vent.
[C8]	Napätie BEM 12,6 V 4 A napätie pripojené na K1 <8> a GND K1<1>, zopnutý K5 <8>
[C9]	Napätie BEM 11,6 V 0,5 A
[C10]	Napätie BEM 14,6 V 0,5 A
[C11]	Napätie BEM 20,6 V 0,5 A, Usel2 prepojená
[C12]	Napätie BEM 24,6 V 0,5 A, Usel1 prepojená
[C13]	Napätie BEM 7,4 V 1 A

Tab.6: Tabuľka počiatočných podmienok BEM

1.4 Ukončovacie sekvencie BEM

[S1]	Nastaviť digitálny výstup DIO7 = LOW na karte A (Rozpojenie DPS BEMP a BEMC) Nastaviť digitálny výstup DIO2 = LOW na karte A (Rozpojenie GND TPR a BEM)
[S2]	Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 0A na AOUT1 karte A. Nastaviť digitálny výstup DIO7 = LOW na karte A (Rozpojenie DPS BEMP a BEMC) Nastaviť digitálny výstup DIO2 = LOW na karte A (Rozpojenie GND TPR a BEM) Nastaviť digitálny výstup B1 = LOW na karte B. (Odpojenie napájania)
[S3]	Nastaviť digitálny výstup DIO7 = LOW na karte A (Rozpojenie DPS BEMP a BEMC)
[S4]	Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 0A na AOUT1 karte A. Nastaviť digitálny výstup DIO7 = LOW na karte A (Rozpojenie DPS BEMP a BEMC) Nastaviť digitálny výstup B1 = LOW na karte B. (Odpojenie napájania)

1.5 Testovacie procedury BEMC

1.5.1 Overenie skratu a rozpojenia obvodu +5VA

Test ID	BEMC-TC-0001
Název	Skrat - rozpojenie obvod +5VA
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A5 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Počkať 5 sekúnd. Vyčítať digitálny vstup C6 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C6 == HIGH
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup A5 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)

1.5.2 Overenie skratu a rozpojenia obvodu +3,3V

Test ID	BEMC-TC-0002
Název	Skrat - rozpojenie obvod +3,3V
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A5 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup C0 = HIGH na karte B. (Nastavenie výstupu) Nastaviť digitálny výstup C1 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable) Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == HIGH
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup A5 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)

1.5.3 Overenie skratu a rozpojenia obvodu +10V

Test ID	BEMC-TC-0003
Název	Skrat - rozpojenie +10V
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A5 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Nastavenie výstupu) Nastaviť digitálny výstup C1 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable) Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == HIGH
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup A5 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)

1.6 Testovacie procedury BEMP

1.6.1 Overenie skratu a rozpojenia obvodu Ugen

Test ID	BEMP-TC-0001
Název	Skrat - rozpojenie Ugen
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A0 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup C0 = HIGH na karte B. (Nastavenie výstupu) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable) Počkať 5 sekúnd. Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == HIGH

Ukončenie merania:	<p>Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup A0 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)</p>
--------------------	---

1.6.2 Overenie skratu a rozpojenia obvodu Usup

Test ID	BEMP-TC-0002
Název	Skrat - rozpojenie Usup
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup A1 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Nastavenie výstupu)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = HIGH na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable)</p> <p>Počkať 5 sekúnd.</p> <p>Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == HIGH
Ukončenie merania:	<p>Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup A1 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)</p>

1.6.3 Overenie skratu a rozpojenia obvodu 3,3V

Test ID	BEMP-TC-0003
Název	Skrat - rozpojenie 3,3V
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup A2 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Nastavenie výstupu)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p>

	<p>Nastaviť digitálny výstup C2 = HIGH na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable)</p> <p>Počkať 5 sekúnd.</p> <p>Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == HIGH
Ukončenie merania:	<p>Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup A2 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)</p>

1.6.4 Overenie skratu a rozpojenia obvodu 10V

Test ID	BEMP-TC-0004
Název	Skrat - rozpojenie 10V
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup A2 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = HIGH na karte B. (Nastavenie výstupu)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = HIGH na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable)</p> <p>Počkať 5 sekúnd.</p> <p>Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == HIGH
Ukončenie merania:	<p>Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup A2 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)</p>

1.6.5 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q1

Test ID	BEMP-TC-0005
Název	Skrat - rozpojenie tranzistoru Q1

Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A4 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Nastavenie výstupu) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable) Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == LOW
Krok 2	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Zopnutie MOSFET) Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == HIGH
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Vypnutie MOSFET) Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup A2 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)

1.6.6 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q2

Test ID	BEMP-TC-0006
Název	Skrat - rozpojenie tranzistoru Q2
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A3 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup C0 = HIGH na karte B. (Nastavenie výstupu) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable) Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.

Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == LOW
Krok 2	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Zopnutie MOSFET) Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == HIGH
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Vypnutie MOSFET) Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup A3 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)

1.6.7 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q3

Test ID	BEMP-TC-0007
Název	Skrat - rozpojenie tranzistoru Q3
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A4 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Nastavenie výstupu) Nastaviť digitálny výstup C1 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable) Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == LOW
Krok 2	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Zopnutie MOSFET) Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == HIGH
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Vypnutie MOSFET) Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.

	Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup A4 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)
--	--

1.6.8 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q4

Test ID	BEMP-TC-0008
Název	Skrat - rozpojenie tranzistoru Q4
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A3 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup C0 = HIGH na karte B. (Nastavenie výstupu) Nastaviť digitálny výstup C1 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable) Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == HIGH
Krok 2	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Zopnutie MOSFET) Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == HIGH
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Vypnutie MOSFET) Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup A3 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)

1.6.9 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q3

Test ID	BEMP-TC-0009
Název	Skrat - rozpojenie tranzistoru Q3
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A4 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania)

	<p>Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Nastavenie výstupu)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable)</p> <p>Počkať 5 sekúnd.</p> <p>Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == LOW
Krok 2	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Zopnutie MOSFET)</p> <p>Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == HIGH
Ukončenie merania:	<p>Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Vypnutie MOSFET)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup A4 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)</p>

1.6.10 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q6

Test ID	BEMP-TC-0010
Název	Skrat - rozpojenie tranzistoru Q6
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup A3 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = HIGH na karte B. (Nastavenie výstupu)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable)</p> <p>Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == LOW
Krok 2	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Zopnutie MOSFET)</p> <p>Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == HIGH

Ukončenie merania:	<p>Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Vypnutie MOSFET)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup A3 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)</p>
--------------------	---

1.6.11 Overenie skratu a rozpojenia tranzistorov D-S Q7, Q12

Test ID	BEMP-TC-0011
Název	Odpor tranzistorov Q7, Q12
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup A4 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = HIGH na karte B. (Nastavenie výstupu)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = HIGH na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable)</p> <p>Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == LOW
Krok 2	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Zopnutie MOSFET)</p> <p>Vyčítať digitálny vstup C5 na karte B.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta B: C5 == HIGH
Ukončenie merania:	<p>Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Vypnutie MOSFET)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup A4 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)</p>

1.6.12 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q8

Test ID	BEMP-TC-0012
Název	Skrat - rozpojenie tranzistoru Q8

Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A3 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Vyčítať digitálny vstup C7 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C7 == LOW
Krok 2	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Zopnutie MOSFET) Vyčítať digitálny vstup C7 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C7 == HIGH
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Vypnutie MOSFET) Nastaviť digitálny výstup A3 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)

1.6.13 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q9 a poistky F1

Test ID	BEMP-TC-0013
Název	Skat - rozpojenie tranzistoru Q9 a poistky F1
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A3 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Nastavenie výstupu) Nastaviť digitálny výstup C1 = HIGH na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable) Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == LOW
Krok 2	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Zopnutie MOSFET) Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == HIGH
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Vypnutie MOSFET) Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup)

	<p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup A3 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)</p>
--	---

1.6.14 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q9 a poistky F3

Test ID	BEMP-TC-0014
Název	Skrat - rozpojenie tranzistoru Q9 a poistky F3
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup A3 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = HIGH na karte B. (Nastavenie výstupu)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable)</p> <p>Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == LOW
Krok 2	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Zopnutie MOSFET)</p> <p>Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == HIGH
Ukončenie merania:	<p>Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Vypnutie MOSFET)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Pôvodný výstup)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup A3 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)</p>

1.6.15 Overenie skratu a rozpojenia tranzistoru D-S Q11 a poistky F4

Test ID	BEMP-TC-0015
Název	Skrat - rozpojenie tranzistoru Q11 a poistky F4
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]

Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A1 = HIGH na karte B. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup C0 = LOW na karte B. (Nastavenie výstupu) Nastaviť digitálny výstup C1 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C2 = LOW na karte B. Nastaviť digitálny výstup C3 = LOW na karte B. (Enable) Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == LOW
Krok 2	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Zopnutie MOSFET) Vyčítať digitálny vstup C4 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: C4 == HIGH
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Vypnutie MOSFET) Nastaviť digitálny výstup C3 = HIGH na karte B. (Disable) Nastaviť digitálny výstup A1 = LOW na karte B. (Odpojenie merania)

1.6.16 Overenie správnosti odporu teplotného čidla meniča S1

Test ID	BEMP-TC-0016
Název	Odpor čidla meniča S1
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup DIO2 = HIGH na karte A. (Prepojenie zemí BEMP a TPR) Nastaviť digitálny výstup DIO5 = HIGH na karte A. (Pripojenie merania) Vyčítať analógový vstup AIN2 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN2 == 6,516 až 6,743 V
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup DIO2 = LOW na karte A. (Rozpojenie zemí BEMP a TPR) Nastaviť digitálny výstup DIO5 = LOW na karte A. (Odpojenie merania)

1.6.17 Overenie kapacity medziobvodu

Test ID	BEMP-TC-0017
Název	Kapacita medziobvodu
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup B2 = HIGH na karte B. Počkať 5 sekúnd Nastaviť digitálny výstup B2 = HIGH na karte B. Spustiť časovač Vyčítať digitálny vstup B6 na karte B.
Očakávaný výsledok:	Karta B: B6 == HIGH V Čas zopnutia 0,65 až 0,7s
Ukončenie merania:	

1.6.18 Overenie priechodnosti zbernice CAN

Test ID	BEMP-TC-0018
Název	Odpor cesty CAN L
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup DIO2 = HIGH na karte A. (Prepojenie zemí BEMP a TPR) Nastaviť digitálny výstup DIO4 = HIGH na karte A. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup A6 = HIGH na karte B. (Prepnutie meraného napätia) Vyčítať analógový vstup AIN4 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN4 == 0,1 až 8,426 V
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup DIO2 = LOW na karte A. (Rozpojenie zemí BEMP a TPR) Nastaviť digitálny výstup A6 = LOW na karte B. (Prepnutie meraného napätia) Nastaviť digitálny výstup DIO4 = LOW na karte A. (Odpojenie merania)

1.6.19 Overenie priechodnosti zbernice CAN

Test ID	BEMP-TC-0019
Název	Odpor cesty CAN H
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup DIO2 = HIGH na karte A. (Prepojenie zemí BEMP a TPR) Nastaviť digitálny výstup DIO4 = HIGH na karte A. (Pripojenie merania) Nastaviť digitálny výstup DIO3 = HIGH na karte A. (Zmena na CAN H) Nastaviť digitálny výstup A6 = HIGH na karte B. (Prepnutie meraného napätia) Vyčítať analógový vstup AIN4 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN4 == 0,1 až 8,426 V
Ukončenie merania:	Nastaviť digitálny výstup DIO2 = na LOW karte A. (Rozpojenie zemí) Nastaviť digitálny výstup DIO4 = LOW na karte A. (Odpojenie merania) Nastaviť digitálny výstup A6 = LOW na karte B. (Prepnutie meraného napätia) Nastaviť digitálny výstup DIO3 = LOW na karte A. (Zmena na CAN L)

1.6.20 Overenie prúdového snímača

Test ID	BEMP-TC-0020
Název	Prúdový snímač U3
Počiatkové nastavenie:	[C1]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup DIO5 = HIGH na karte A. (Pripojenie záťaže a napájania) Nastaviť napájanie jednotky U = 7,8 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 2 A na AOUT1 karte A Nastaviť digitálny výstup DIO2 = HIGH na karte A. (Prepojenie zemí BEMP a TPR). Vyčítať analógový vstup AIN4 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN4 == 0,608 až 0,618 V

Ukončenie merania:	<p>Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A.</p> <p>Nastaviť napájanie jednotky I = 0 A na AOUT1 karte A.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup DIO5 = LOW na karte A. (Odpojenie záťaže a napájania)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup DIO2 = na LOW karte A. (Rozpojenie zemí)</p>
--------------------	--

1.6.21 Overenie funkcie zdroja napätia +10V U1

Test ID	BEMP-TC-0021
Název	Zdroj napätia +10V U1
Počiatkové nastavenie:	[C1]
Krok 1	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup DIO2 = HIGH na karte A. (Prepojenie zemí BEMP a TPR).</p> <p>Nastaviť digitálny výstup B1 = HIGH na karte B. (Pripojenie napájania)</p> <p>Nastaviť napájanie jednotky U = 12 V na AOUT0 karte A.</p> <p>Nastaviť napájanie jednotky I = 0,1 A na AOUT1 karte A.</p> <p>Vyčítať analógový vstup AIN7 na karte A.</p>
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN7 == 7,6 až 8,4 V
Ukončenie merania:	[S4]

1.6.22 Overenie funkcie zdroja napätia +3,3V U1

Test ID	BEMP-TC-0022
Název	Zdroj napätia +3,3V U1
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C4]
Krok 1	
Akcia:	<p>Nastaviť digitálny výstup DIO2 = HIGH na karte A. (Prepojenie zemí BEMP a TPR).</p> <p>Nastaviť digitálny výstup B1 = HIGH na karte B. (Pripojenie napájania)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup A6 = HIGH na karte B. (Prepnutie meraného napätia)</p> <p>Nastaviť napájanie jednotky U = 12 V na AOUT0 karte A.</p> <p>Nastaviť napájanie jednotky I = 0,1 A na AOUT1 karte A.</p> <p>Vyčítať analógový vstup AIN7 na karte A.</p>

Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN7 == 3,2 až 3,4 V
Ukončenie merania:	[S4] Nastaviť digitálny výstup A6 = LOW na karte B. (Prepnutie meraného napätia)

1.7 Testovacie procedúry BEM

1.7.1 Overenie prúdového odberu jednotky (bez SW)

Test ID	BEM-TC-0001
Název	Prúdový odber (bez SW)
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C3], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Vyčítať analógový vstup AIN3 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN3 == 0,191 V (0,4 – 0,45A)
Ukončenie merania:	[S2]

1.7.2 Overenie prúdového odberu jednotky (so SW)

Test ID	BEM-TC-0002
Název	Prúdový odber (so SW)
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C3], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Zaviesť SW pomocou JTAG Vyčítať analógový vstup AIN3 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN3 == 0,105 V (0,05 až 0,1 A)
Ukončenie merania:	[S2]

1.7.3 Overenie merania napätia Usup

Test ID	BEM-TC-0003
Název	Meranie Usup

Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C3], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Po CAN vyčítať hodnotu registru Usup Vyčítať analógový vstup AIN0 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Register Usup == 12 V Karta A: AIN0 == 3 V (Prevodový pomer Usup / 4) Napätia vyčítané a merané musia byť s rozdielom max 0,7 V
Ukončenie merania:	[S2]

1.7.4 Meranie obvodu napätia +3,3V

Test ID	BEM-TC-0004
Název	Obvod +3.3V
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C3], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A6 = HIGH na karte B. (Prepnutie meraného napätia) Vyčítať analógový vstup AIN7 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Karta A: CH1 == 3,2 až 3,4 V
Ukončenie merania:	[S2] Nastaviť digitálny výstup A6 = LOW na karte B. (Prepnutie meraného napätia)

1.7.5 Meranie obvodu napätia +10 V

Test ID	BEM-TC-0005
Název	Obvod +10 V
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C3], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Vyčítať analógový vstup AIN7 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN7 == 7,6 až 8,4 V
Ukončenie merania:	[S2]

1.7.6 Meranie obvodu napätia Uref

Test ID	BEM-TC-0006
Název	Obvod Uref
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C3], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Vyčítať analógový vstup AIN1 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN1 == 4,94 až 5,06 V
Ukončenie merania:	[S2]

1.7.7 Meranie obvodu napätia AD Uref

Test ID	BEM-TC-0007
Název	Register AD Uref
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C3], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Vyčítať register AD Uref
Očakávaný výsledok:	Register AD Uref == 3613 až 3883
Ukončenie merania:	[S2]

1.7.8 Meranie a kalibrácia teploty okolitého vzduchu

Test ID	BEMP-TC-0008
Název	Teplota Tair + kalibrácia
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup B0 = HIGH na karte B. (Pripojenie simulácie odporu) Po CAN vyčítať hodnotu registru Tair
Očakávaný výsledok:	Register Tair T == - 56 ± 7 °C V prípade že vyčítaná hodnota nezodpovedá očakávanej, Kalibrovať register Tair podľa očakávaného výsledku
Krok 2	

Akcia:	Nastaviť digitálny výstup DIO3 = HIGH na karte A. (Zmena simulovaného odporu) Po CAN vyčítať hodnotu registru Tair
Očakávaný výsledok:	Register Tair T == 120 ± 7 °C V prípade že vyčítaná hodnota nezodpovedá očakávanej, Kalibrovať register Tair podľa očakávaného výsledku
Ukončenie merania:	Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 0 A na AOUT1 karte A. Nastaviť digitálny výstup B1 = LOW na karte A. (Odpojenie napájania) Nastaviť digitálny výstup B0 = LOW na karte B. (Odpojenie simulácie odporu) Nastaviť digitálny výstup DIO3 = LOW na karte A. (Zmena simulovaného odporu) [S3]

1.7.9 Meranie a kalibrácia teploty výfukových spalín

Test ID	BEMP-TC-0009
Název	Teplota Texh + kalibrácia
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup A7 = HIGH na karte B. (Pripojenie testovacieho napájania) Po CAN vyčítať hodnotu registru Texh
Očakávaný výsledok:	Register TexhT == 677 ± 20 °C V prípade že vyčítaná hodnota nezodpovedá očakávanej, Kalibrovať register Texh podľa očakávaného výsledku
Krok 2	
Akcia:	V prípade že vyčítaná hodnota nezodpovedá očakávanej, Nastaviť register Texh podľa očakávaného výsledku
Krok 3	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup B0 = HIGH na karte B. (Prepnutie testovacieho napájania) Po CAN vyčítať hodnotu registru Texh
Očakávaný výsledok:	Register Texh T = 75 ± 20 °C V prípade že vyčítaná hodnota nezodpovedá očakávanej, Kalibrovať register Texh podľa očakávaného výsledku

Ukončenie merania:	<p>Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A.</p> <p>Nastaviť napájanie jednotky I = 0 A na AOUT1 karte A.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup B1 = LOW na karte A. (Odpojenie napájania)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup A7 = LOW na karte B. (Odpojenie testovacieho napájania)</p> <p>Nastaviť digitálny výstup B0 = LOW na karte B. (Prepnutie testovacieho napájania)</p> <p>[S3]</p>
--------------------	---

1.7.10 Meranie a kalibrácia teploty studeného konca termočlánku

Test ID	BEMP-TC-0010
Název	Teplota Tcold + kalibrácia
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Po CAN vyčítať hodnotu registru Tcold
Očakávaný výsledok:	<p>Register Tair $T == t \pm 7 \text{ } ^\circ\text{C}$</p> <p>V prípade že vyčítaná hodnota nezodpovedá očakávanej, Nastaviť register Tcold podľa očakávaného výsledku</p> <p>$t ==$ hodnota teploty v testovacej miestnosti</p>
Ukončenie merania:	<p>Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A.</p> <p>Nastaviť napájanie jednotky I = 0 A na AOUT1 karte A.</p> <p>Nastaviť digitálny výstup B1 = LOW na karte A. (Odpojenie napájania)</p> <p>[S3]</p>

1.7.11 Meranie a kalibrácia teploty meniča

Test ID	BEMP-TC-0011
Název	Teplota Tpower + kalibrácia
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Po CAN vyčítať hodnotu registru Tpower
Očakávaný výsledok:	<p>Register Tair $T == t \pm 7 \text{ } ^\circ\text{C}$</p> <p>V prípade že vyčítaná hodnota nezodpovedá očakávanej, Nastaviť register Tcold podľa očakávaného výsledku</p>

	t == hodnota teploty v testovacej miestnosti
Krok 2	
Ukončenie merania:	Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 0 A na AOUT1 karte A. Nastaviť digitálny výstup B1 = LOW na karte A. (Odpojenie napájania) [S3]

1.7.12 Meranie napätia fáz

Test ID	BEMP-TC-0012
Název	Meranie napätia fáz
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť napájanie jednotky U = 10 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 100 mA na AOUT1 karte A. Po CAN vyčítať hodnotu registrov PhU, PhV, PhW
Očakávaný výsledok:	Registre PhU, PhV, PhW AD == 1131 až 1298
Krok 2	
Ukončenie merania:	Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 0 A na AOUT1 karte A.

1.7.13 Meranie napätia fáz – odpojené napájanie

Test ID	BEMP-TC-0013
Název	Meranie napájania fáz – odpojené napájanie
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2],
Krok 1	
Akcia:	Vyčítať analógový vstup AIN 5 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN 5 == 1,5 až 2,3 V
Krok 2	
Ukončenie merania:	

1.7.14 Meranie napätia fáz – odpojené napájanie, aktívny ATEN

Test ID	BEMP-TC-0014
----------------	---------------------

Název	Meranie napájania fáz – odpojené napájanie, ATEN
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2],
Krok 1	
Akcia:	Aktivuj výstup ATEN Vyčítať analógový vstup AIN 5 na karte A.
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN 5 == 2,5 až 3 V
Krok 2	
Ukončenie merania:	Deaktivuj výstup ATEN

1.7.15 Kontrola registrov PhU, PhV, PhW

Test ID	BEMP-TC-0015
Název	Kontrola registrov PhU, PhV, PhW
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2],
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť napájanie jednotky U = 10 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 100 mA na AOUT1 karte A. Po CAN vyčítať hodnotu registrov PhU, PhV, PhW
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN 5 == 2,5 až 2,59 V
Krok 2	
Ukončenie merania:	Deaktivuj výstup ATEN

1.7.16 Kalibrácia registrov PhU, PhV, PhW

Test ID	BEMP-TC-0016
Název	Kalibrácia fáz
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2],
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť napájanie jednotky U = 5 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 100 mA na AOUT1 karte A.

Očakávaný výsledok:	Registre PhU, PhV, PhW AD == 5 V
Krok 2	
Akcia	Uprav napätie aby boli rozdiely medzi fázami čo najmenšie a zároveň čo najbližšie 5 V.
Krok 3	
Ukončenie merania:	Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 0 mA na AOUT1 karte A.

1.7.17 Meranie otáčok

Test ID	BEMP-TC-0017
Název	Meranie otáčok
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C3], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup B4 = HIGH na karte B. (Pripojenie simulácie otáčok) Na generátore nastaviť do fázy $U \sin = 0$ až 10 V, 100 Hz, 1000 až 3000 s maximálnym krokom 100 Hz za 0,5 s Po CAN vyčítať hodnotu registru otáčok
Očakávaný výsledok:	Register otáčky == pre 100 Hz - RPM = 3000 ± 5 ot./min pre 1000 Hz - RPM = 30000 ± 10 ot./min pre 3000 Hz - RPM = 90000 ± 40 ot./min
Krok 2	
Ukončenie merania:	[S2] Na generátore nastaviť do $U = 0$ V

1.7.18 Nadotáčková ochrana

Test ID	BEMP-TC-0018
Název	Nadotáčková ochrana
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C2], [C3], [C4]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup B4 = HIGH na karte B. (Pripojenie simulácie otáčok) Na generátore nastaviť do fázy $U \sin = 0$ až 10 V, 100 Hz, 1000 až 3600 s maximálnym krokom 100 Hz za 0,5 s

	Pokračovať v zvyšovaní frekvencie po 1 Hz do 3674 Po CAN vyčítať hodnotu registru otáčok
Očakávaný výsledok:	Register nadOt == HIGH pre rozsah otáčok 3660 až 3674
Krok 2	
Ukončenie merania:	[S2] Na generátore nastaviť do U = 0 V Nastaviť digitálny výstup B4 = LOW na karte B. (Odpojenie simulácie otáčok)

1.7.19 Kontrola ventilu FVS

Test ID	BEMP-TC-0019
Název	Ventil FVS
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C3], [C5]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup DIO5 = LOW na karte A. (Pripojenie záťaže) Aktivuj výstup FVS Vyčítať analógový vstup AIN3
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN3 == >0,115 V (I viac ako 0,1 A)
Ukončenie merania:	Deaktivuj výstup FVS [S4]

1.7.20 Kontrola ventilu FVP1

Test ID	BEMP-TC-0020
Název	Ventil FVP1
Počiatkové nastavenie:	[C1], [C3], [C5]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup DIO5 = LOW na karte A. (Pripojenie záťaže) Aktivuj výstup FVP1 Vyčítať analógový vstup AIN3
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN3 == >0,115 V (I viac ako 0,1 A)

Ukončenie merania:	Deaktivuj výstup FVP1 [S4]
--------------------	-------------------------------

1.7.21 Kontrola ventilu FVP2

Test ID	BEMP-TC-0022
Název	Ventil FVP2
Počiatkové nastavenie:	[C0], [C1], [C2], [C3], [C7]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť digitálny výstup DIO5 = LOW na karte A. (Pripojenie záťaže) Aktivuj výstup FVP2 Vyčítať analógový vstup AIN3
Očakávaný výsledok:	Karta A: AIN3 == >0,115 V (I viac ako 0,1 A)
Ukončenie merania:	Deaktivuj výstup FVP2 [S4]

1.7.22 Kontrola roztočenia štartér-generátoru

Test ID	BEMP-TC-0022
Název	Roztočenie štartér-generátoru
Počiatkové nastavenie:	[C0], [C1], [C2], [C3], [C8]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť register pre otáčky n = 5000 ot/min Aktivuj výstup START
Očakávaný výsledok:	
Krok 2	
Ukončenie merania:	Po 7 sekundách aktivuj výstup STOP

1.7.23 Kontrola meniču 12 V

Test ID	BEMP-TC-0023
Název	Kontrola meniču 12 V

Počiatkové nastavenie:	[C0], [C1], [C2], [C8]
Krok 1	
Akcia:	Aktivuj výstup QH
Očakávaný výsledok:	Osciloskop odčítava Duty cycle > 90 %
Krok 2	
Akcia:	Aktivuj výstup QL
Očakávaný výsledok:	U QL == 0 V
Krok 3	
Akcia:	Nastaviť napájanie jednotky U = 14,6 V na AOUT0 karte A. Aktivuj výstup QH
Očakávaný výsledok:	Osciloskop odčítava Duty cycle < 10 %
Krok 4	
Ukončenie merania:	Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 0 A na AOUT1 karte A.

1.7.24 Kontrola meniču 14 V

Test ID	BEMP-TC-0024
Název	Kontrola meniču 12 V
Počiatkové nastavenie:	[C0], [C1], [C2], [C3], [C10]
Krok 1	
Akcia:	Prepnúť register 12/14 V na 14 V Po CAN vyčítať hodnotu registru
Očakávaný výsledok:	Register 12/14 V == 14 V
Krok 2	
Ukončenie merania:	Prepnúť register 12/14 V na 12 V

1.7.25 Kontrola meniču 25 V

Test ID	BEMP-TC-0025
Název	Kontrola meniču 12 V

Počiatkové nastavenie:	[C0], [C1], [C2], [C11]
Krok 1	
Akcia:	Aktivuj výstup QH
Očakávaný výsledok:	Osciloskop odčítava Duty cycle > 90 %
Krok 2	
Akcia:	Aktivuj výstup QL
Očakávaný výsledok:	U QL == 0 V
Krok 3	
Akcia:	Nastaviť napájanie jednotky U = 28,6 V na AOUT0 karte A. Aktivuj výstup QH
Očakávaný výsledok:	Osciloskop odčítava Duty cycle < 10 %
Krok 4	
Ukončenie merania:	Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 0 A na AOUT1 karte A. Rozpoj signál U _{sel2}

1.7.26 Kontrola meniču 28 V

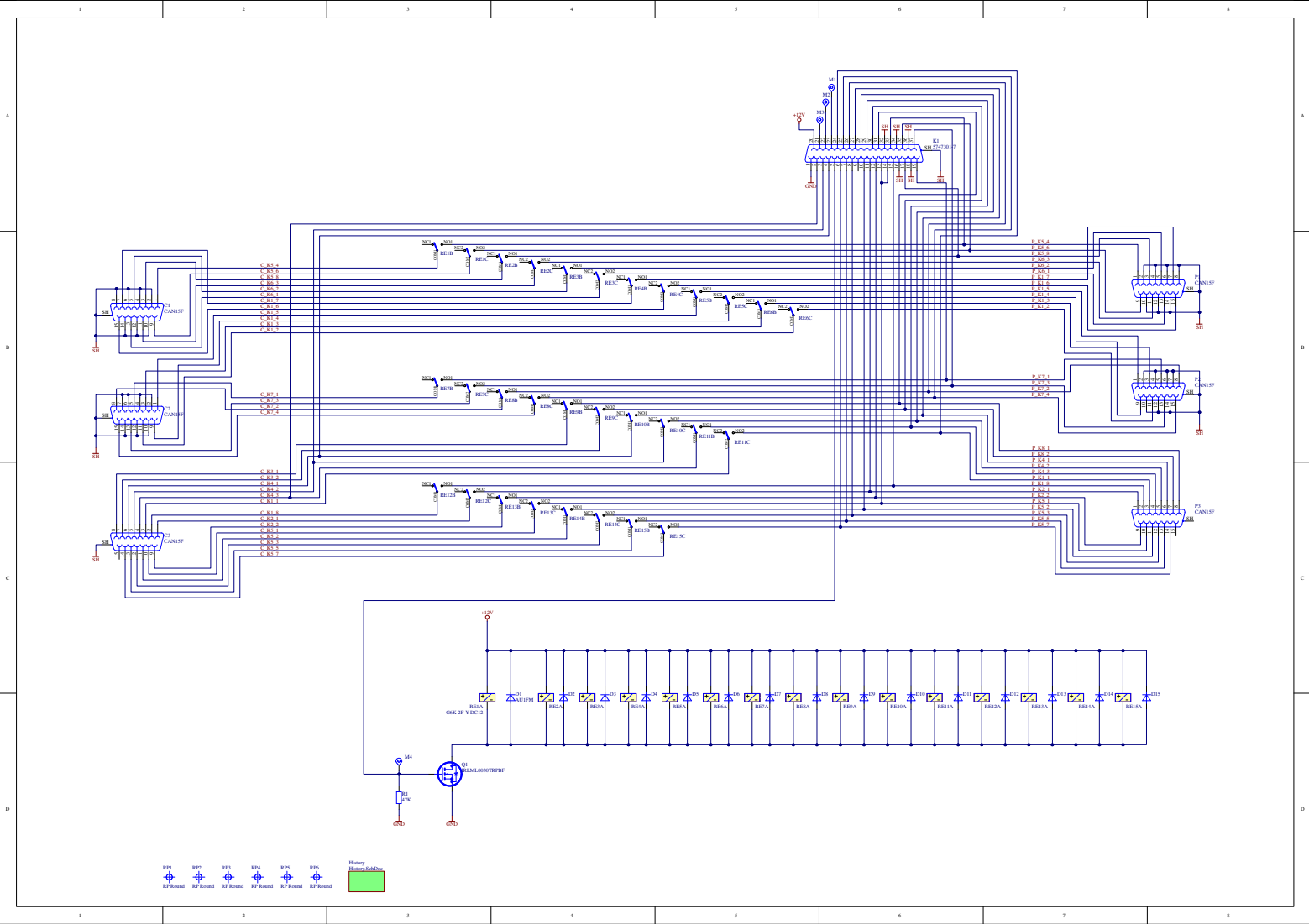
Test ID	BEMP-TC-0026
Název	Kontrola meniču 28 V
Počiatkové nastavenie:	[C0], [C1], [C2], [C12]
Krok 1	
Akcia:	Aktivuj výstup QH
Očakávaný výsledok:	Osciloskop odčítava Duty cycle > 90 %
Krok 2	
Akcia:	Aktivuj výstup QL
Očakávaný výsledok:	U QL == 0 V
Krok 3	
Akcia:	Nastaviť napájanie jednotky U = 30,6 V na AOUT0 karte A. Aktivuj výstup QH

Očakávaný výsledok:	Osciloskop odčítava Duty cycle < 10 %
Krok 4	
Ukončenie merania:	Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 0 A na AOUT1 karte A. Rozpoj signál Usel1

1.7.27 Kontrola prúdu meniču

Test ID	BEMP-TC-0027
Název	Kontrola prúdu meniču
Počiatkové nastavenie:	[C0], [C1], [C2], [C13]
Krok 1	
Akcia:	Nastaviť napätie Imen na 5 V Zopnúť Imen Po CAN vyčítať hodnotu registru Iconv
Očakávaný výsledok:	Register Iconv == 16 až 20 A
Krok 2	
Ukončenie merania:	Nastaviť napájanie jednotky U = 0 V na AOUT0 karte A. Nastaviť napájanie jednotky I = 0 A na AOUT1 karte A.

E Schéma DPS BINT

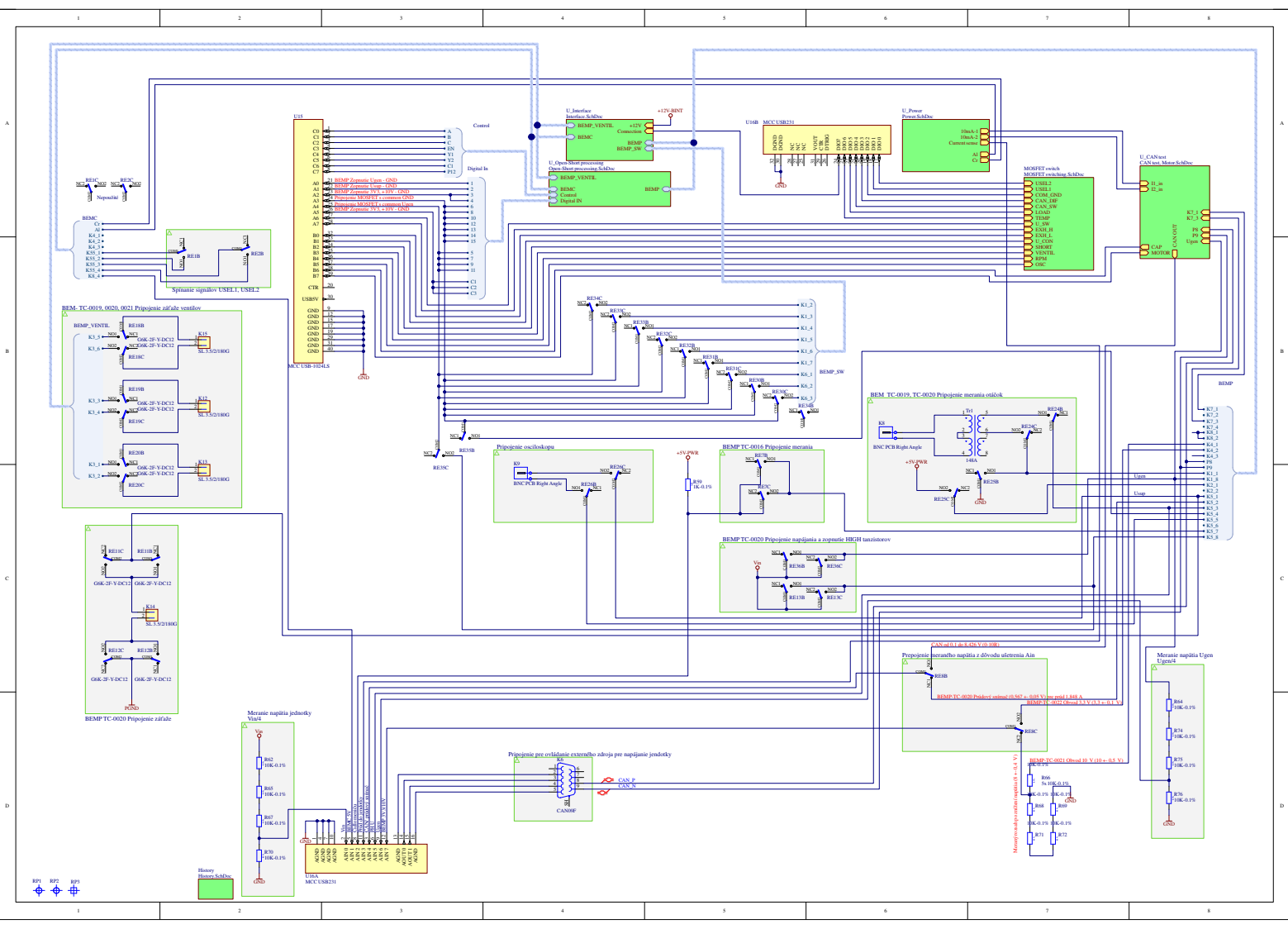


- RF1 RF Round
- RF2 RF Round
- RF3 RF Round
- RF4 RF Round
- RF5 RF Round
- RF6 RF Round
- RF7 RF Round
- RF8 RF Round
- RF9 RF Round
- RF10 RF Round
- RF11 RF Round
- RF12 RF Round
- RF13 RF Round
- RF14 RF Round
- RF15 RF Round
- RF16 RF Round
- RF17 RF Round
- RF18 RF Round
- RF19 RF Round
- RF20 RF Round
- RF21 RF Round
- RF22 RF Round
- RF23 RF Round
- RF24 RF Round
- RF25 RF Round
- RF26 RF Round
- RF27 RF Round
- RF28 RF Round
- RF29 RF Round
- RF30 RF Round
- RF31 RF Round
- RF32 RF Round
- RF33 RF Round
- RF34 RF Round
- RF35 RF Round
- RF36 RF Round
- RF37 RF Round
- RF38 RF Round
- RF39 RF Round
- RF40 RF Round
- RF41 RF Round
- RF42 RF Round
- RF43 RF Round
- RF44 RF Round
- RF45 RF Round
- RF46 RF Round
- RF47 RF Round
- RF48 RF Round
- RF49 RF Round
- RF50 RF Round
- RF51 RF Round
- RF52 RF Round
- RF53 RF Round
- RF54 RF Round
- RF55 RF Round
- RF56 RF Round
- RF57 RF Round
- RF58 RF Round
- RF59 RF Round
- RF60 RF Round
- RF61 RF Round
- RF62 RF Round
- RF63 RF Round
- RF64 RF Round
- RF65 RF Round
- RF66 RF Round
- RF67 RF Round
- RF68 RF Round
- RF69 RF Round
- RF70 RF Round
- RF71 RF Round
- RF72 RF Round
- RF73 RF Round
- RF74 RF Round
- RF75 RF Round
- RF76 RF Round
- RF77 RF Round
- RF78 RF Round
- RF79 RF Round
- RF80 RF Round
- RF81 RF Round
- RF82 RF Round
- RF83 RF Round
- RF84 RF Round
- RF85 RF Round
- RF86 RF Round
- RF87 RF Round
- RF88 RF Round
- RF89 RF Round
- RF90 RF Round
- RF91 RF Round
- RF92 RF Round
- RF93 RF Round
- RF94 RF Round
- RF95 RF Round
- RF96 RF Round
- RF97 RF Round
- RF98 RF Round
- RF99 RF Round
- RF100 RF Round

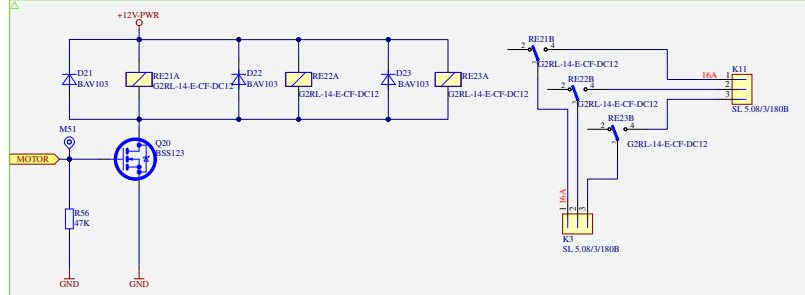
Heavy
Honey-Salts

F Výrobné dáta DPS BINT

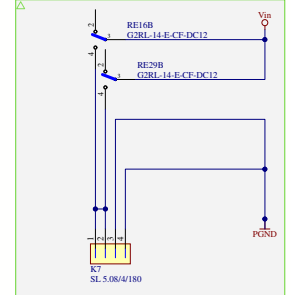
G Schéma DPS BTES



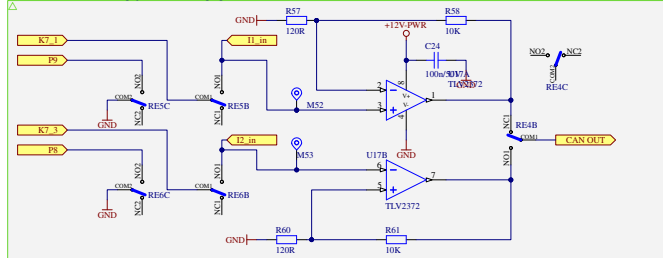
BEMP-TC-0024 - Pripojenie motoru



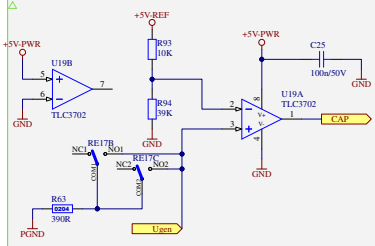
Pripojenie napájania na Usup



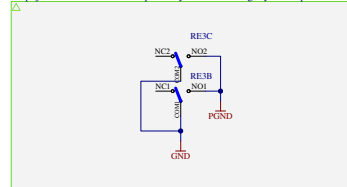
BEMP-TC-0018.0019 - Pripojenie merania a prepínania CAN

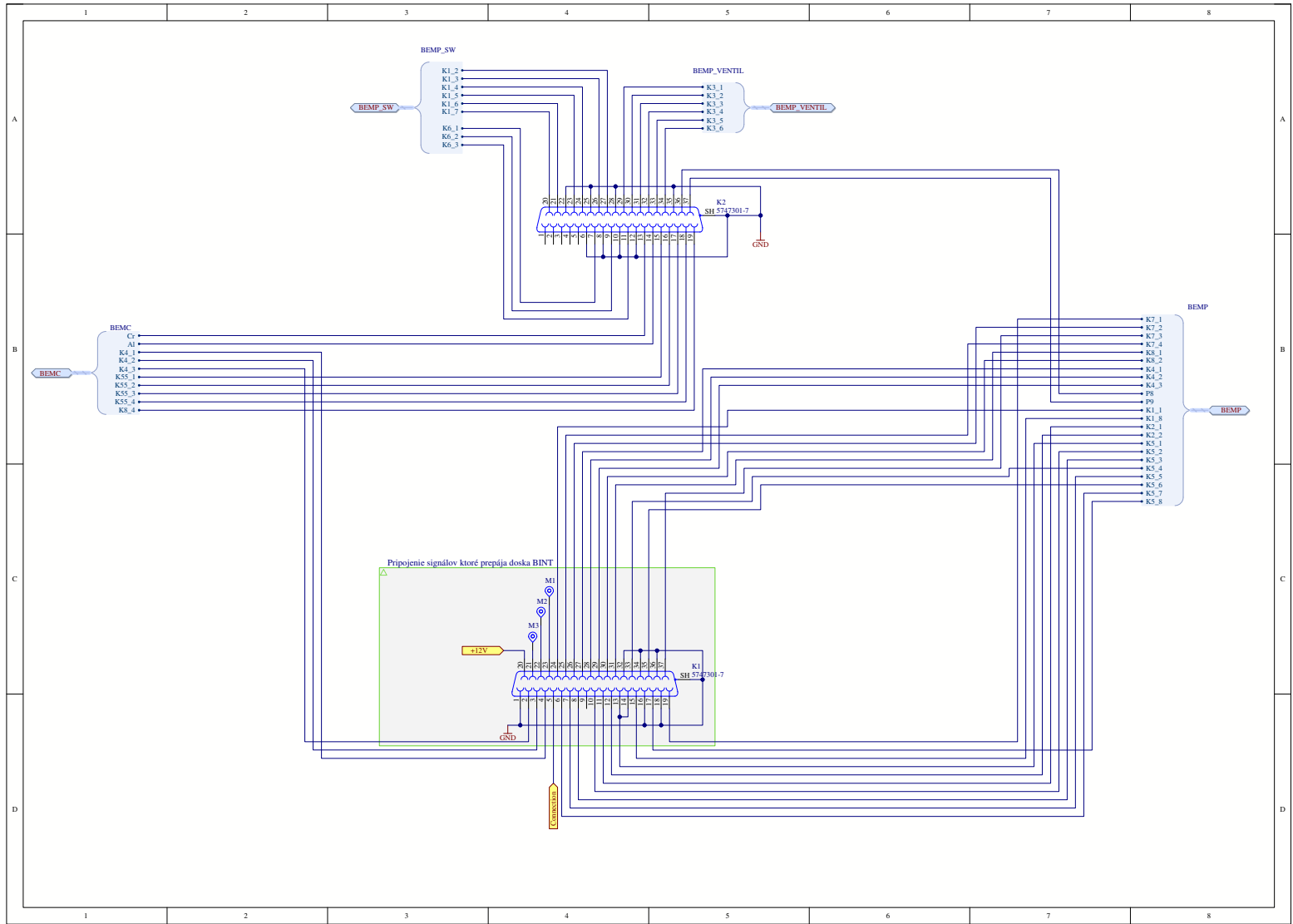


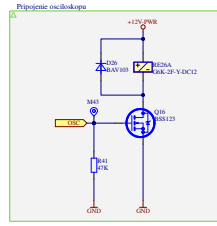
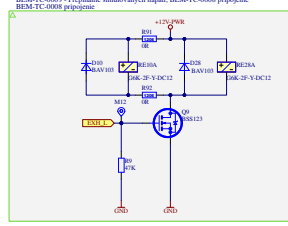
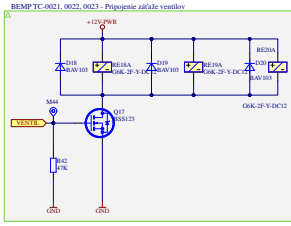
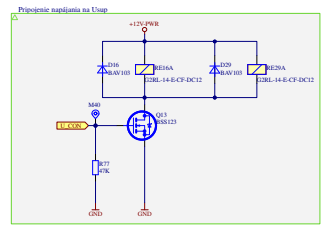
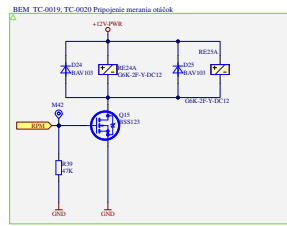
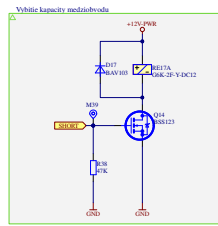
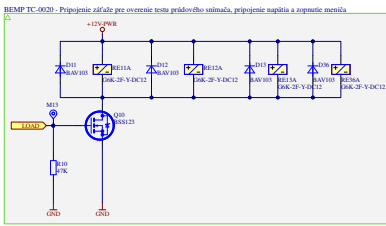
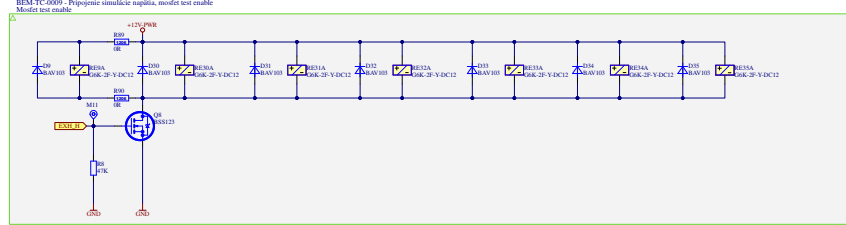
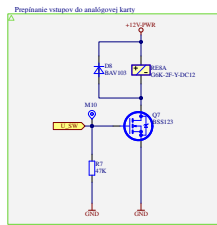
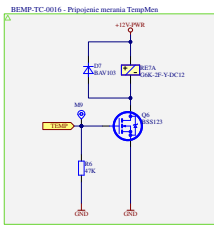
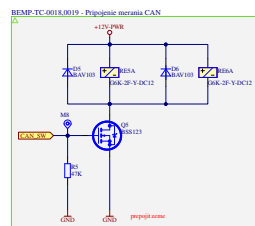
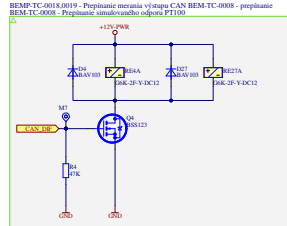
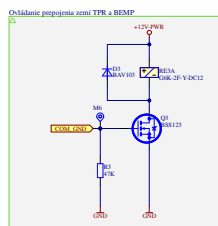
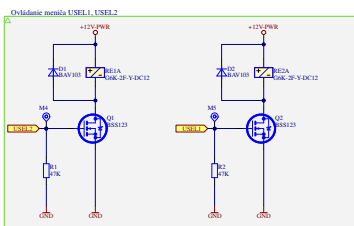
BEMP-TC-007BD vybitie medziobvodu



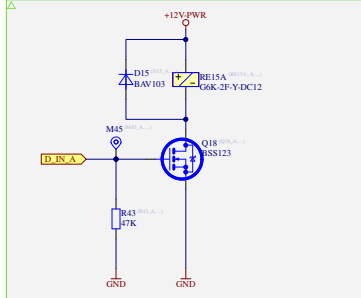
Prepojenie zemí TPR a BEMP pre účely merania analógových vstupov



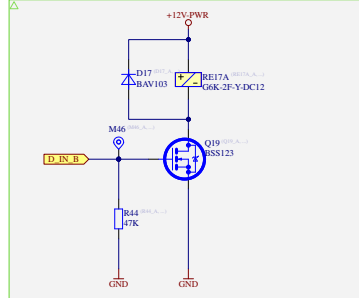




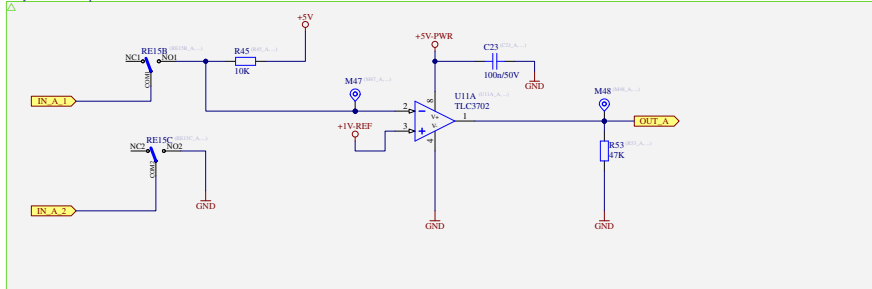
Pripojenie spínaného tranzistoru A



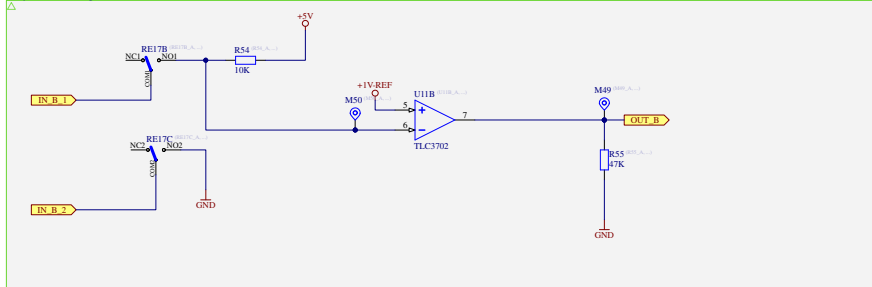
Pripojenie spínaného tranzistoru B



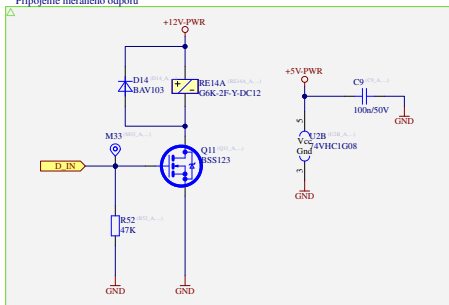
Vyhodnotenie zopnutia A



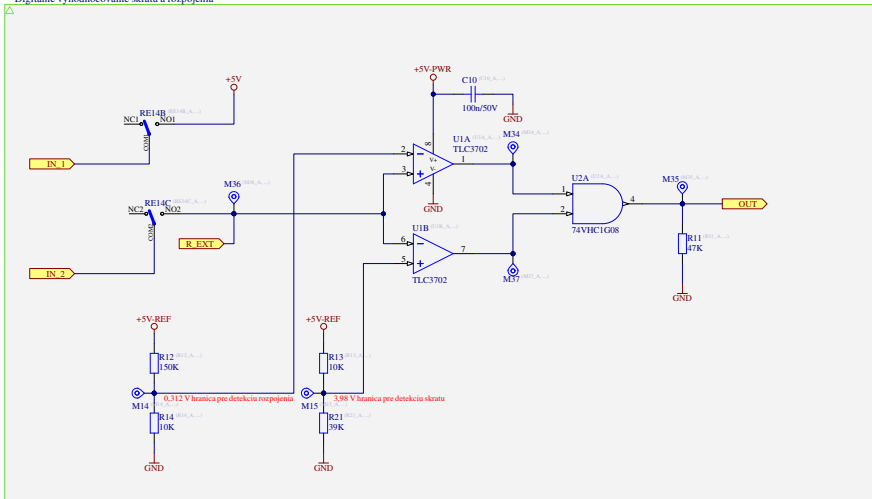
Vyhodnotenie zopnutia B

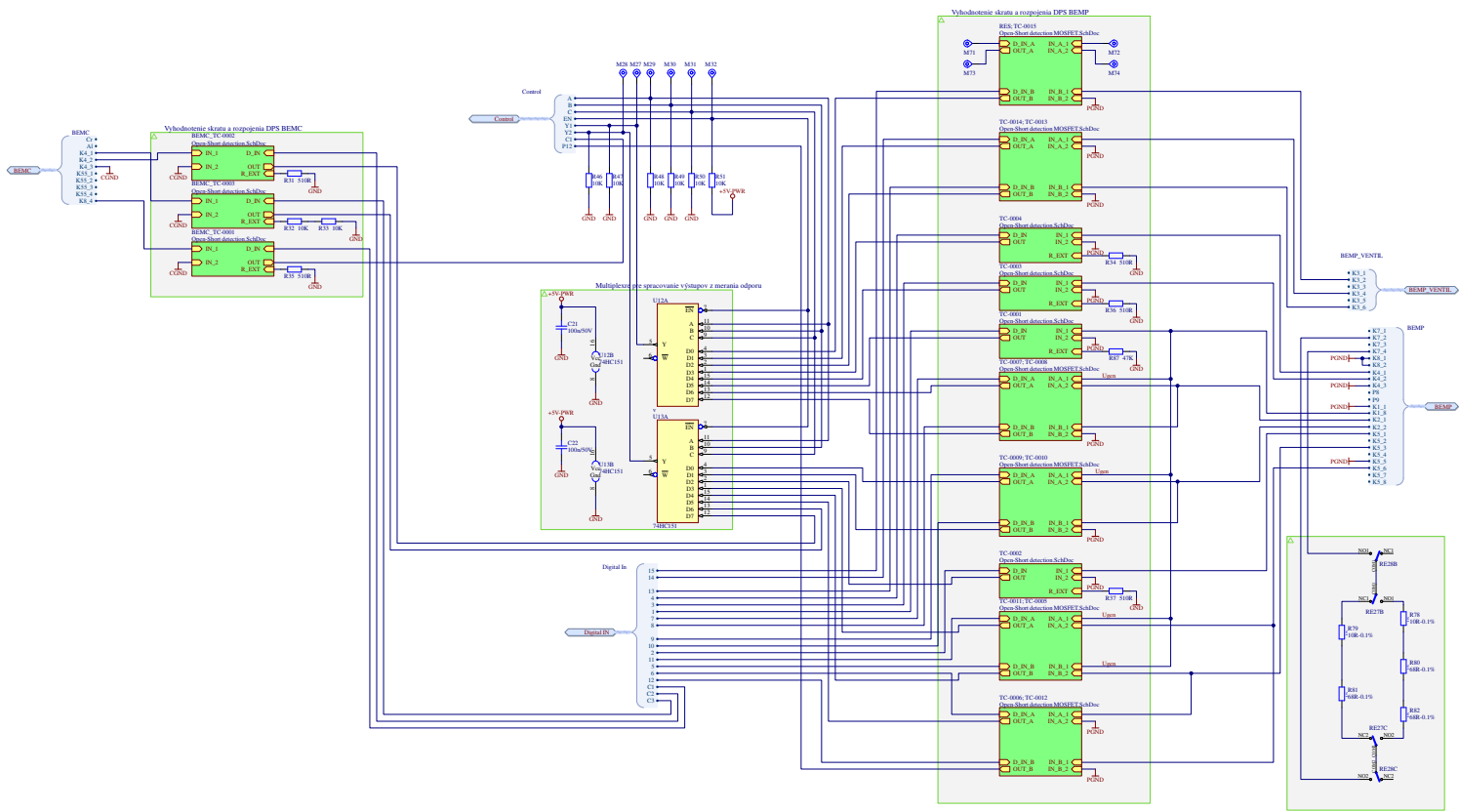


Prípojenie meraného odporu



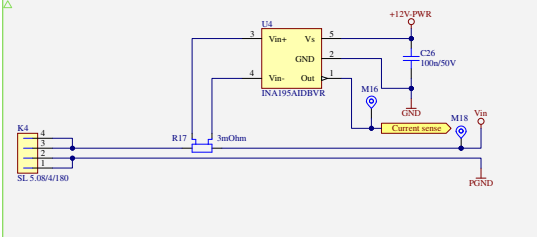
Digitálne vyhodnocovanie skratu a rozpojenia



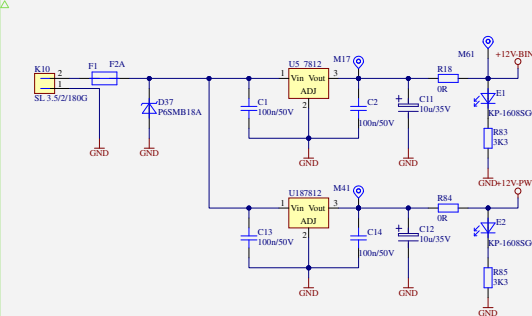


BEM-TC-008B Simulacia PT100

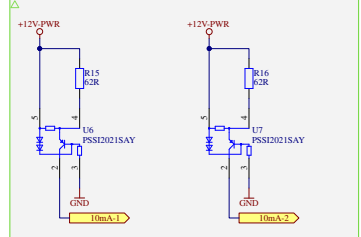
Napájanie jednotky + current sense



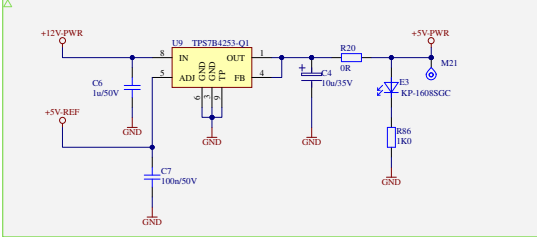
Zdroj 12 V/1 A pre napájanie TPR



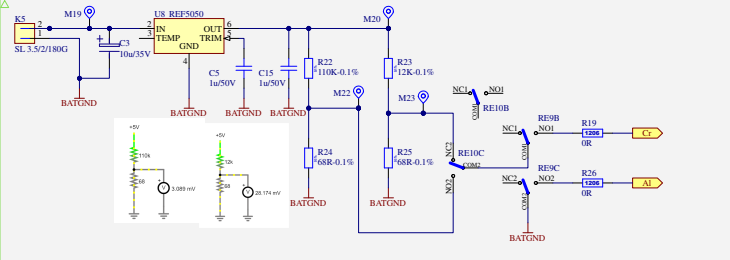
BEMP-TC-0018.0019 - Prúdové zdroje pre meranie odporu CAN - 10 mA



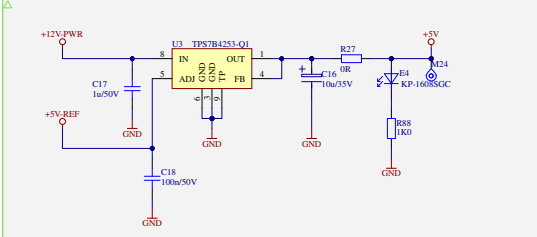
Zdroj 5 V pre napájanie logických obvodov



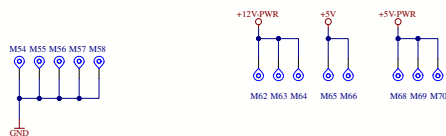
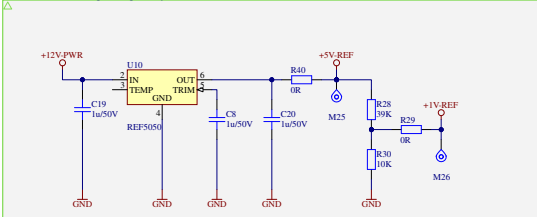
BEM-TC-0009 - Simulácia a kalibrácia termočlánku - pripájanie dvoch úrovní napätí



Zdroj 5 V pre skraty a rozpojenia



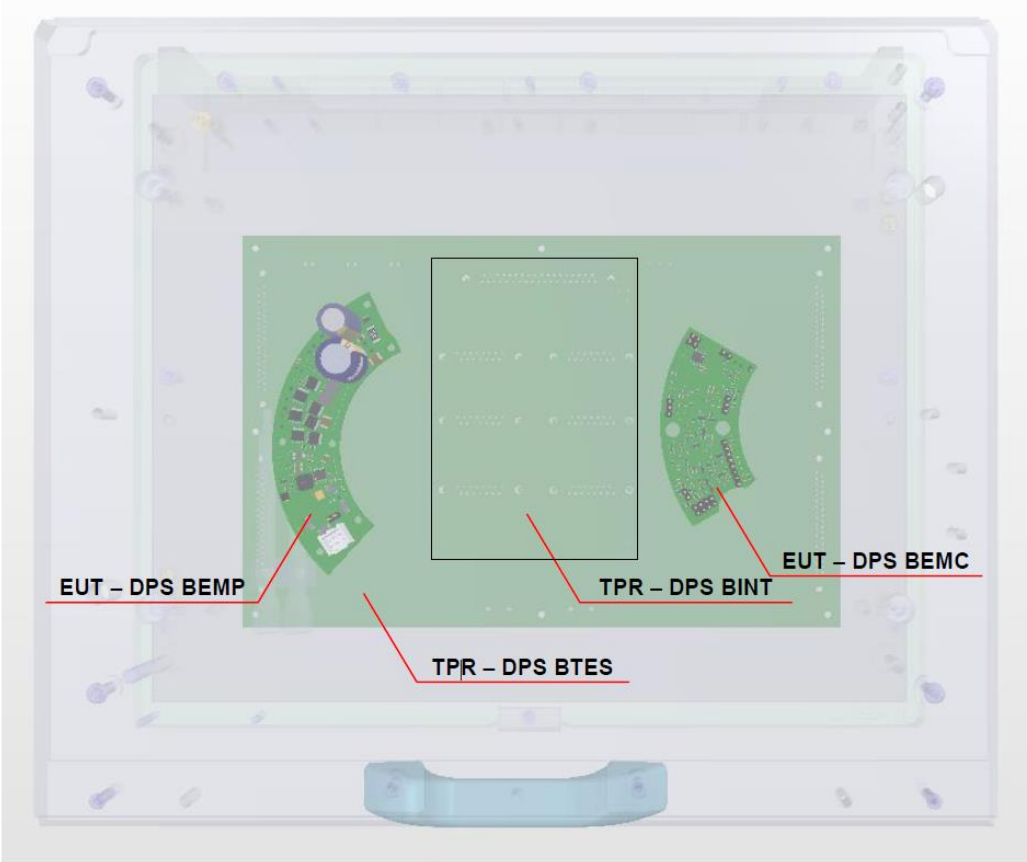
5V a 1V referencie prekomparatory

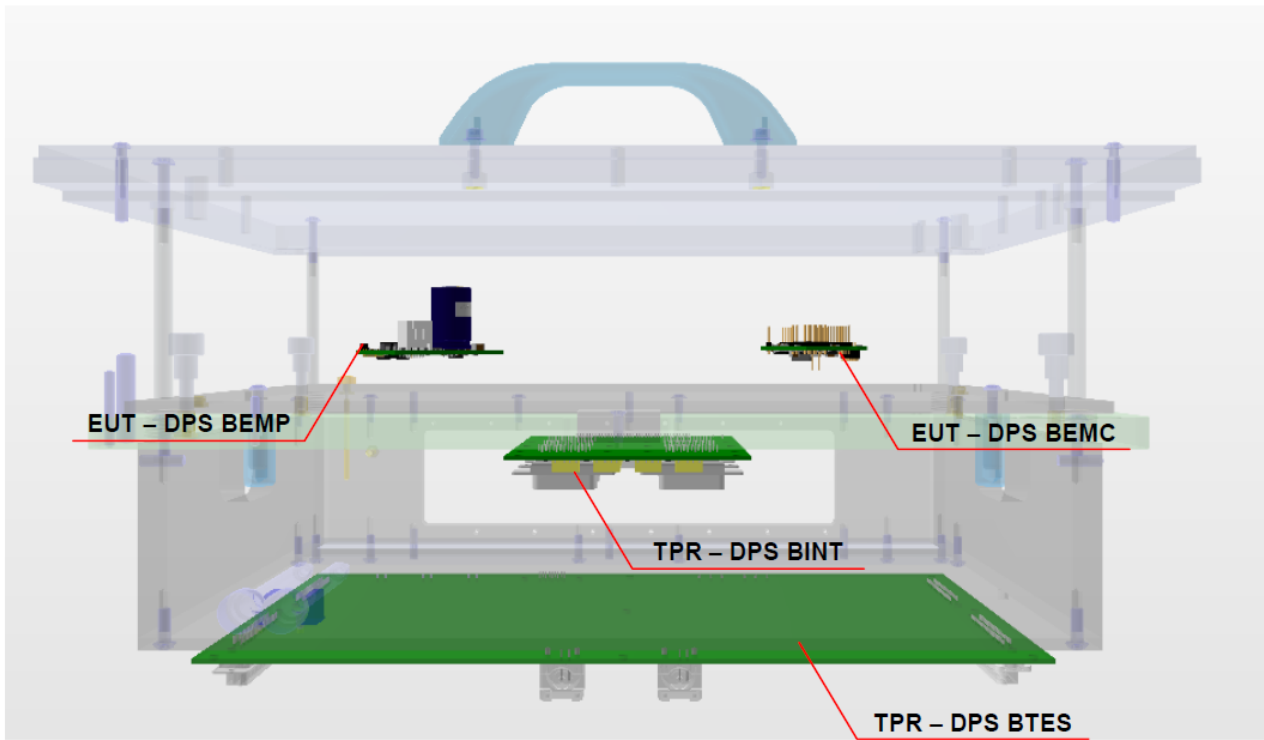


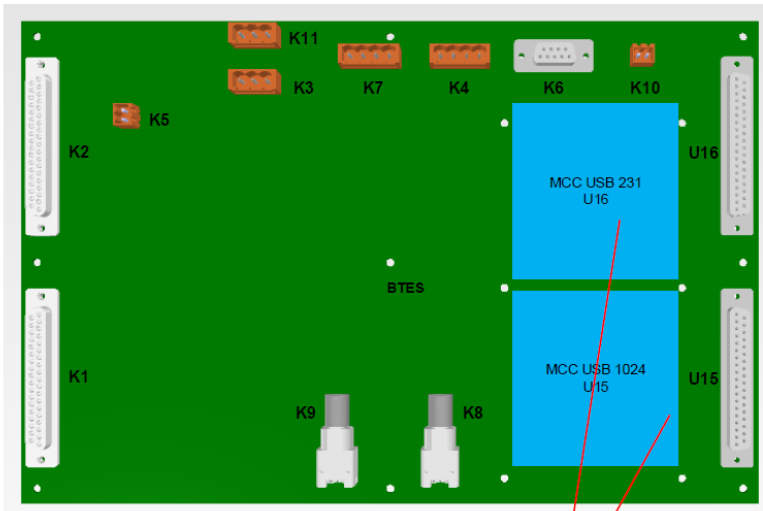
H Výrobné dáta DPS BTES

I Špecifikácia vnútornej kabeláže TJP1

Špecifikácia vnútornej kabeláže TJP1



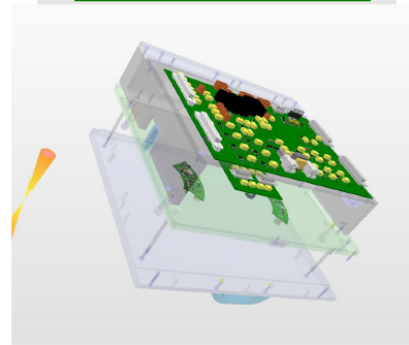
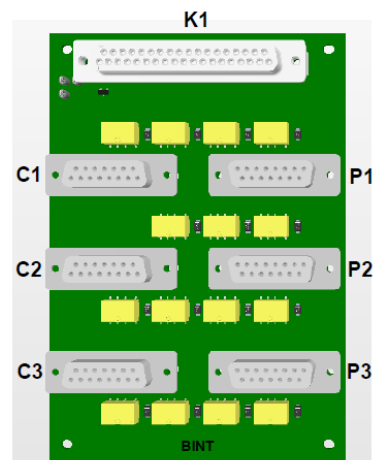




Rozmer kariet 90x90 mm, budú umiestnené na vyvýšenej platforme v blízkosti konektorov U15 a U16

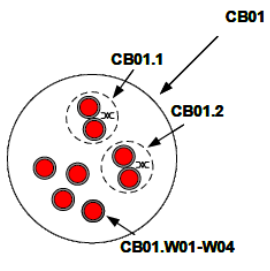
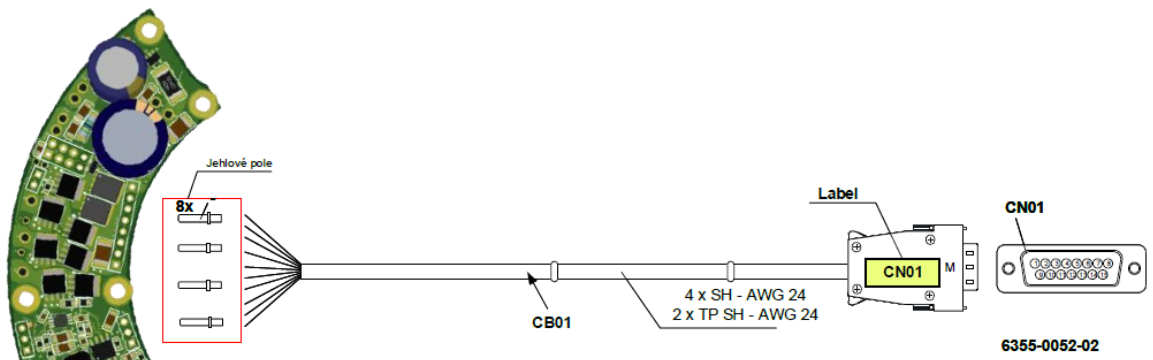
Rozmer DPS - BTES 290x190 mm
- BINT 90x130 mm

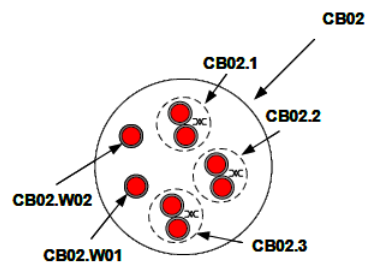
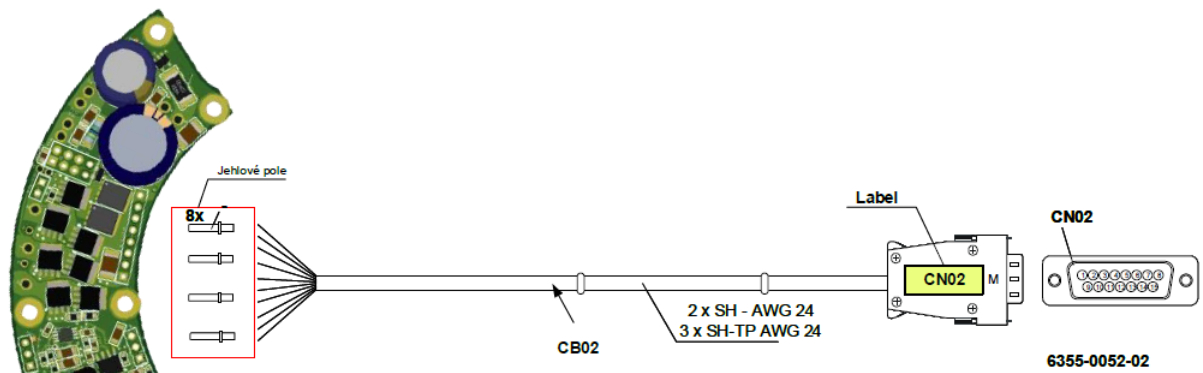
D/A karty na spracovanie signálov

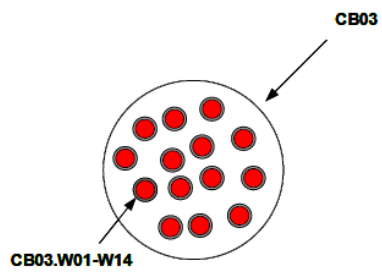


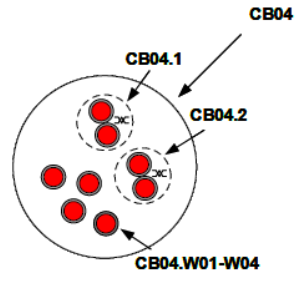
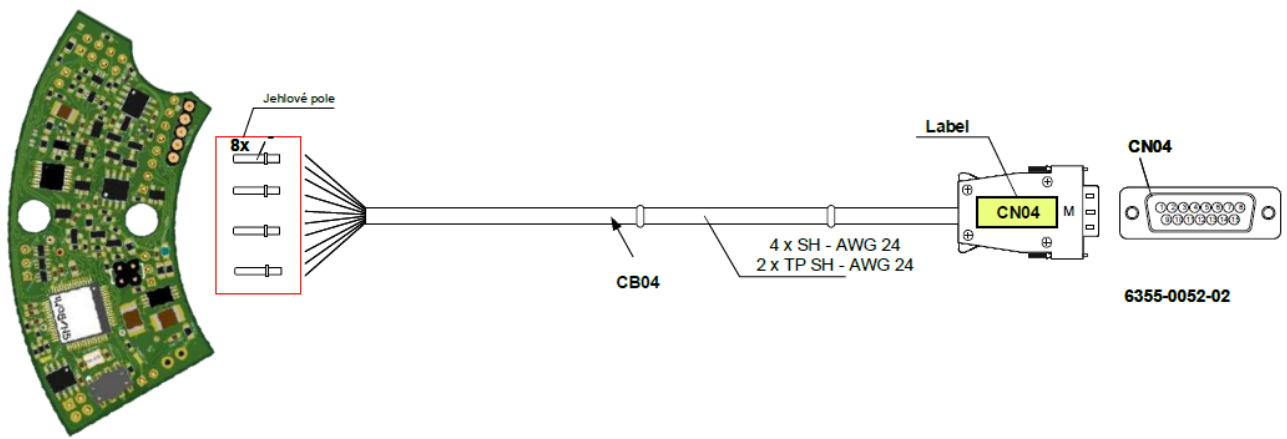
Designed	Hajčoš M.	Project	Title	Sheet
Checked	Gerhel P.	15TJX1	NIC1-TJP1 Connectors	Sheet

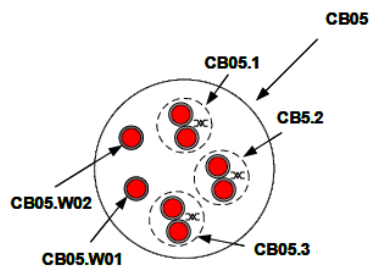
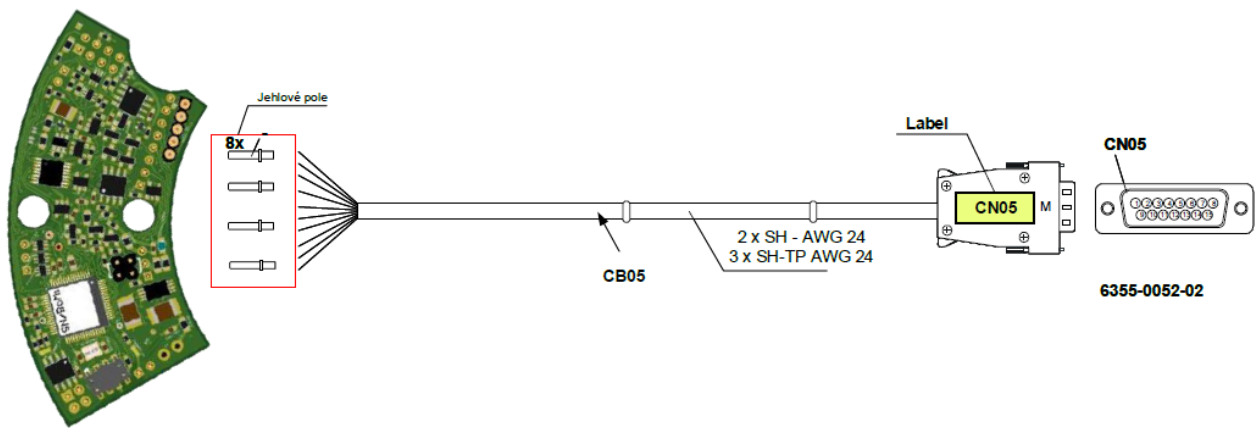


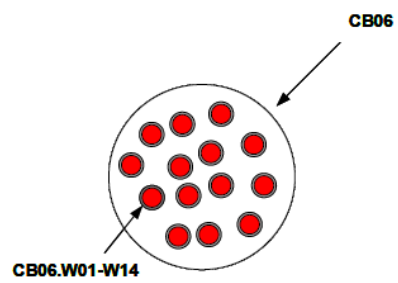
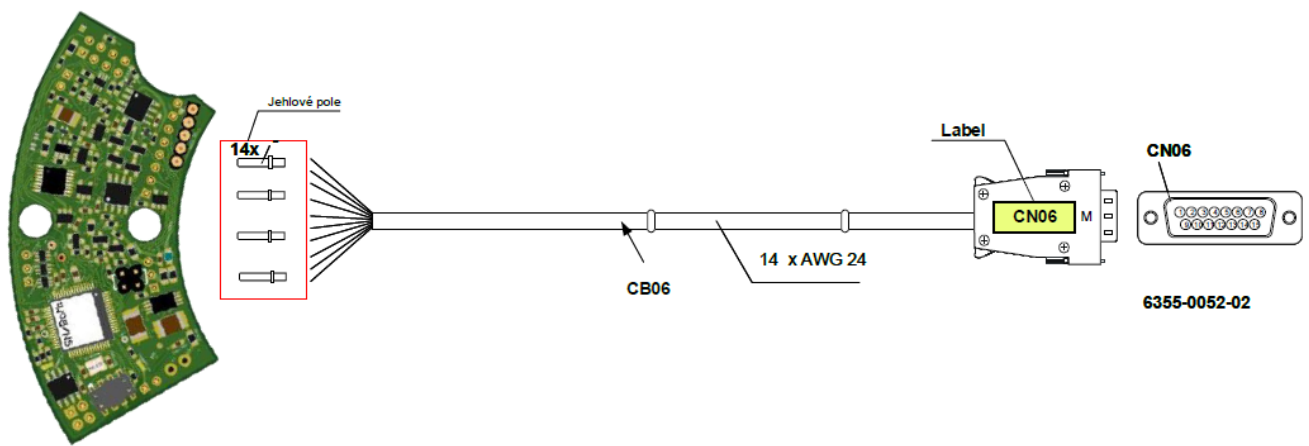


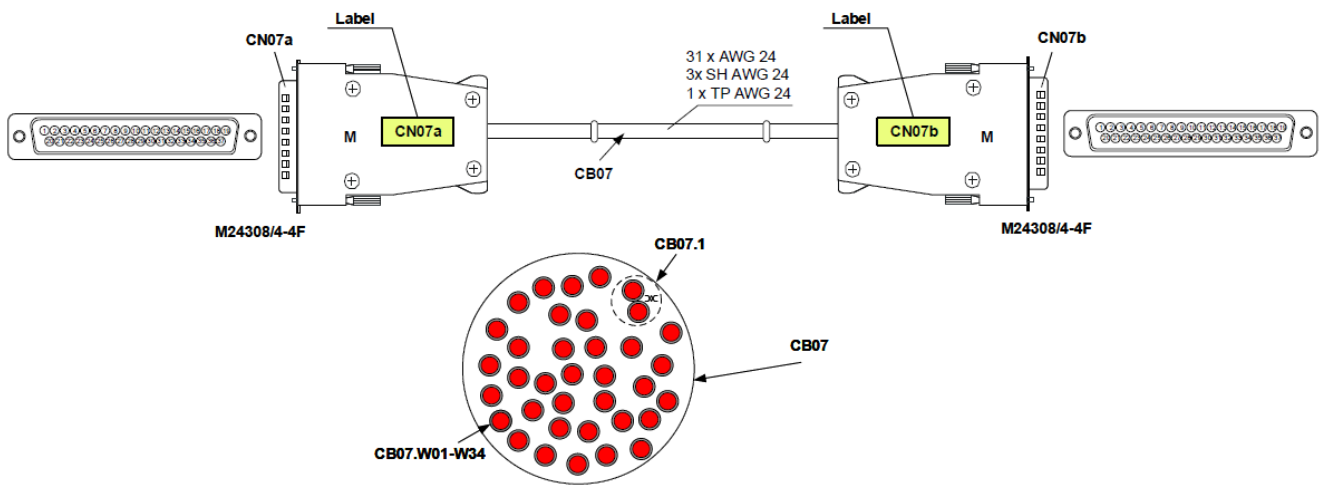


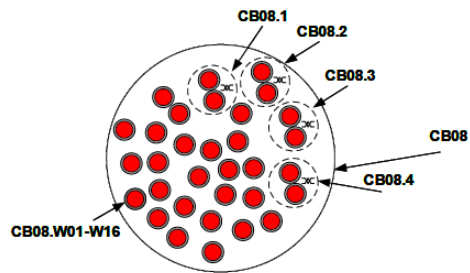
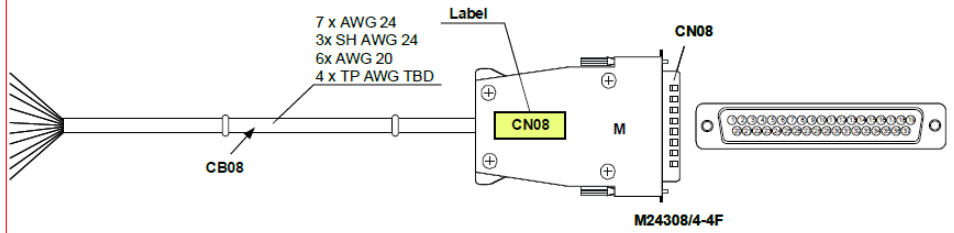
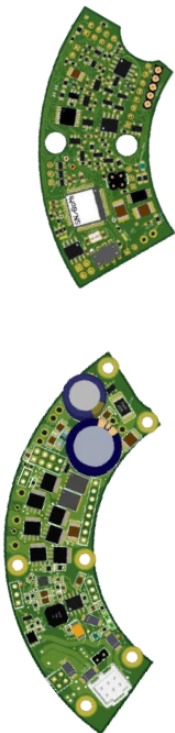


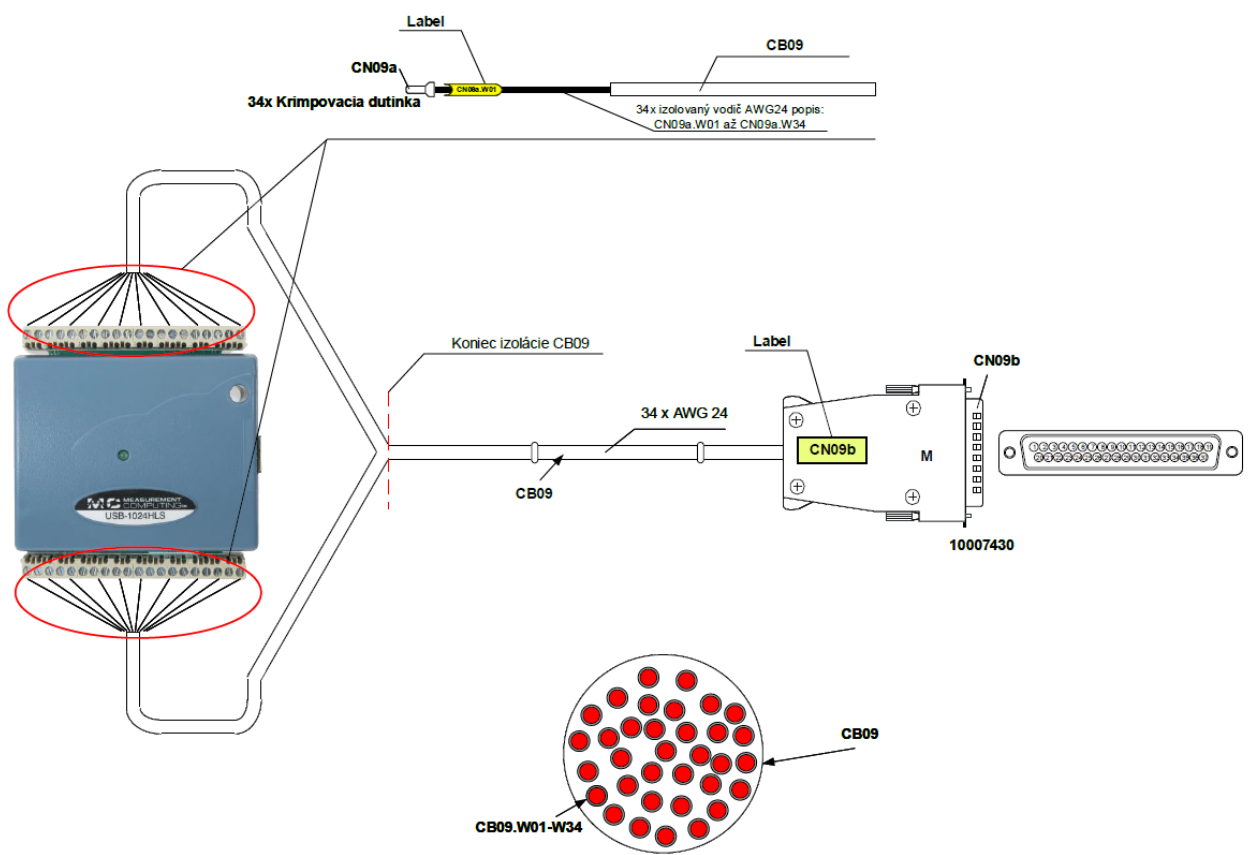


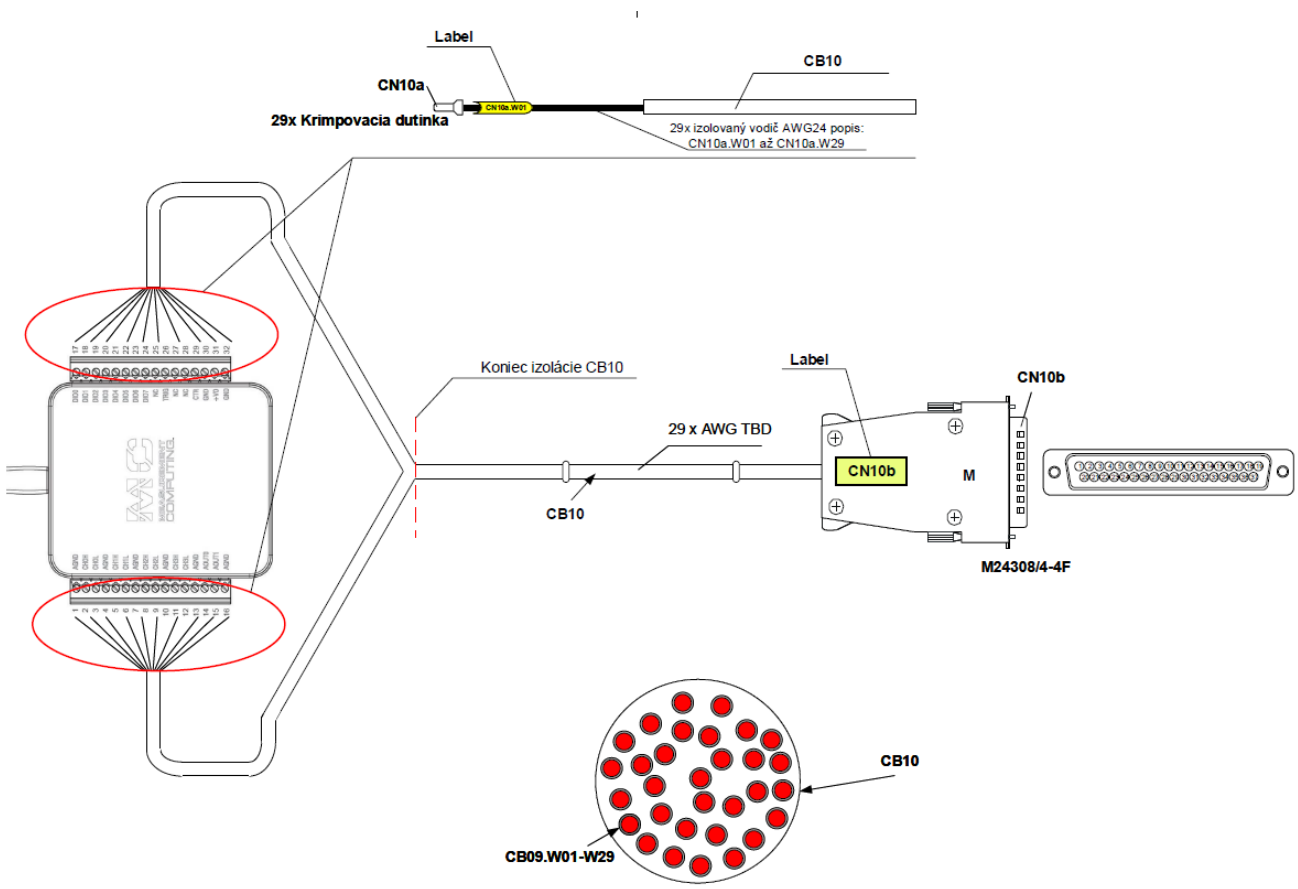


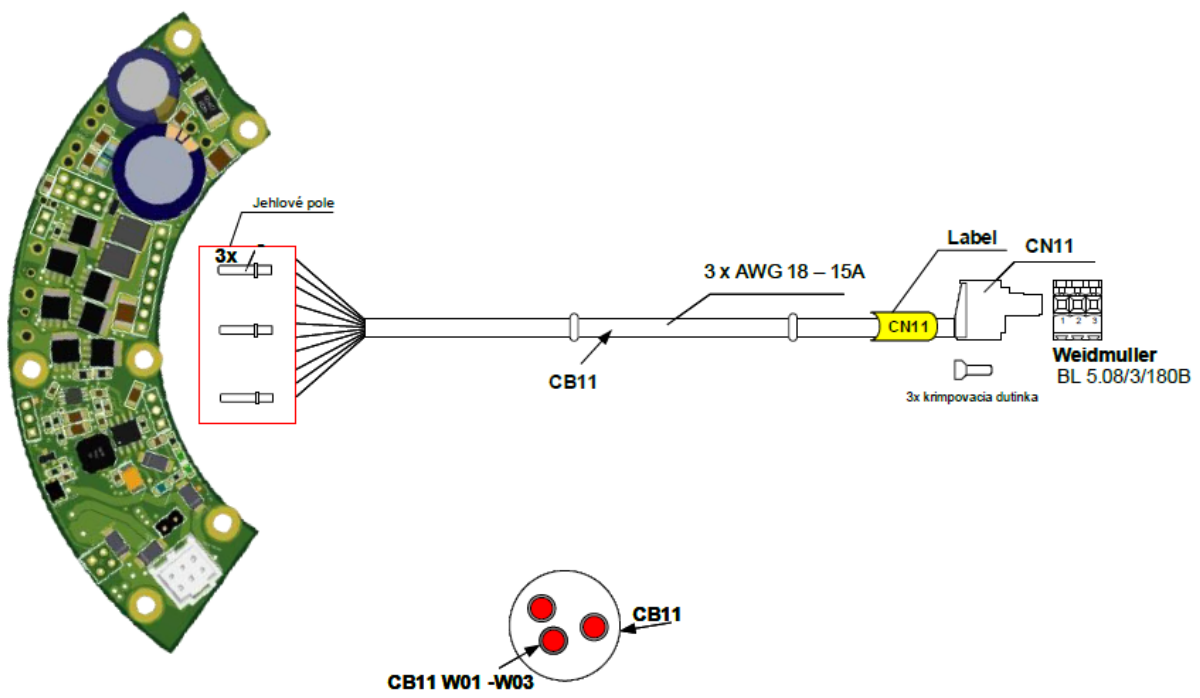


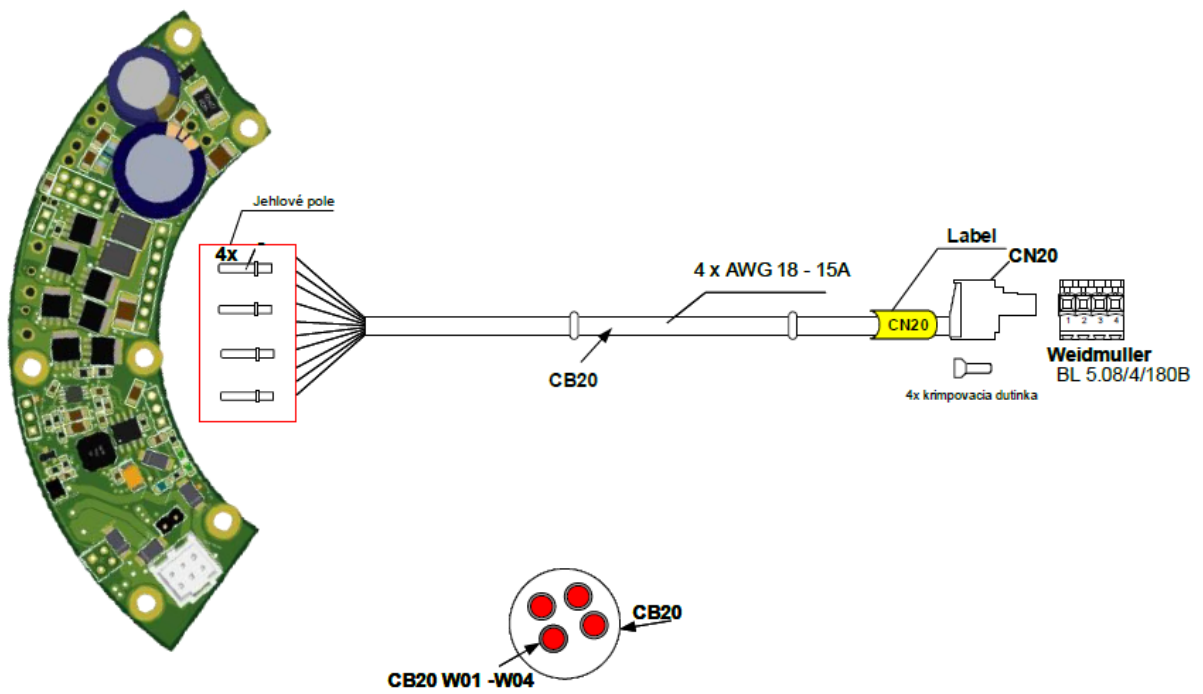






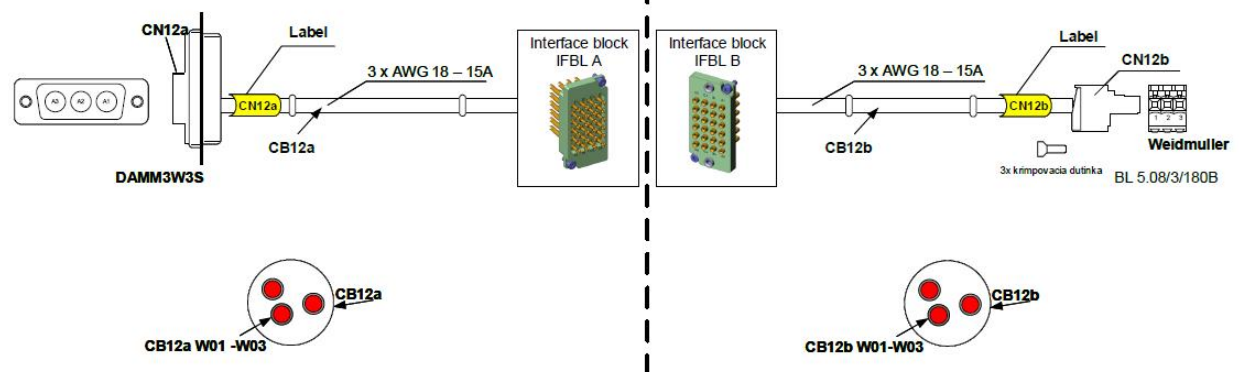






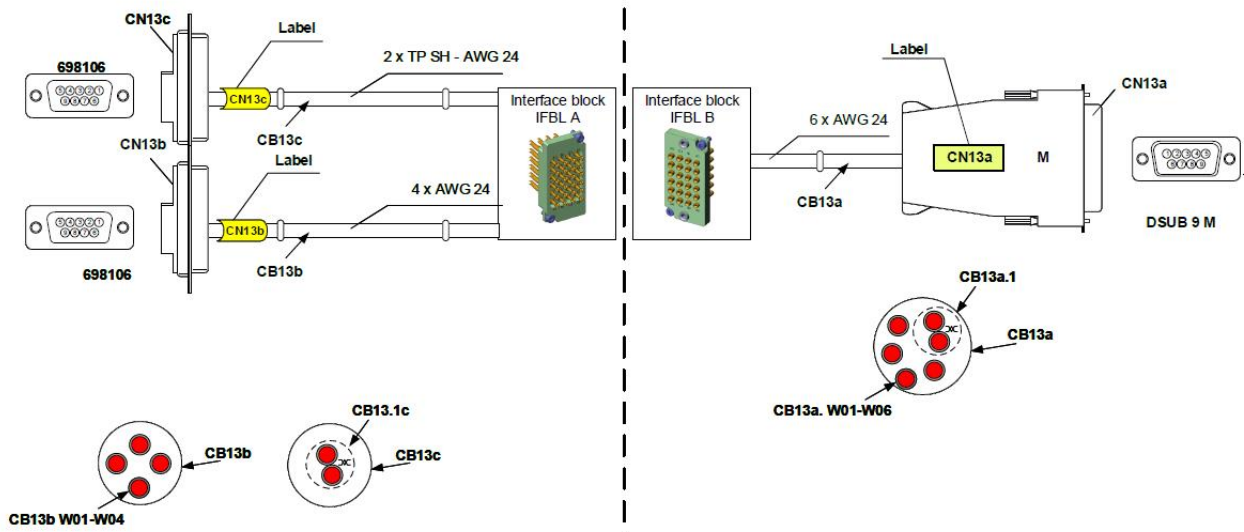
Strana panelu

Strana TPR

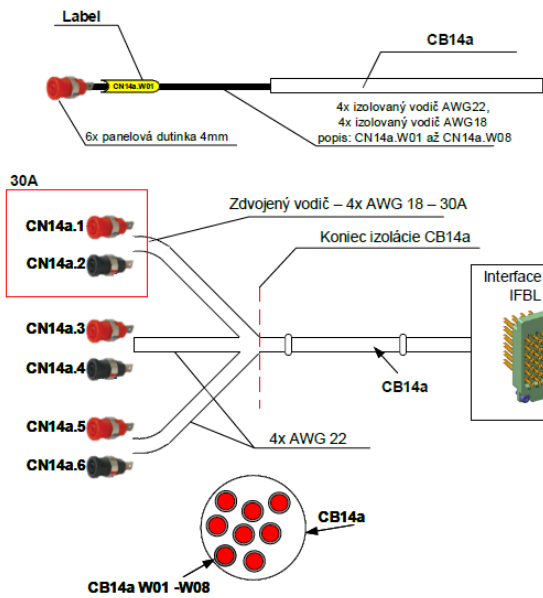


Strana panelu

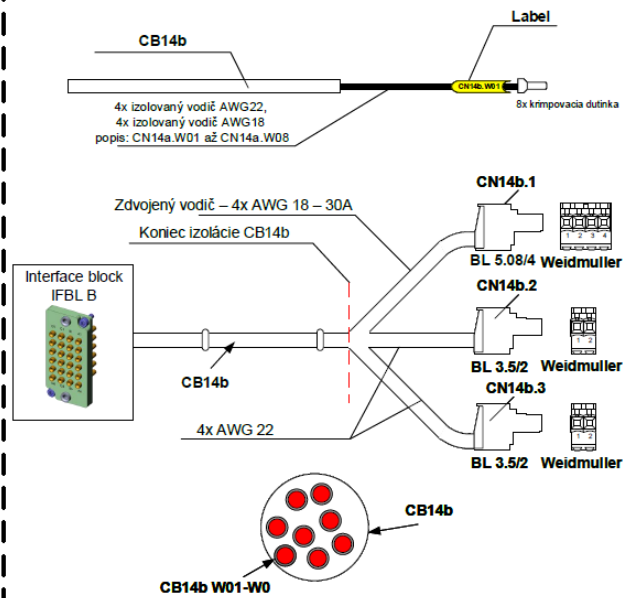
Strana TPR



Strana panelu

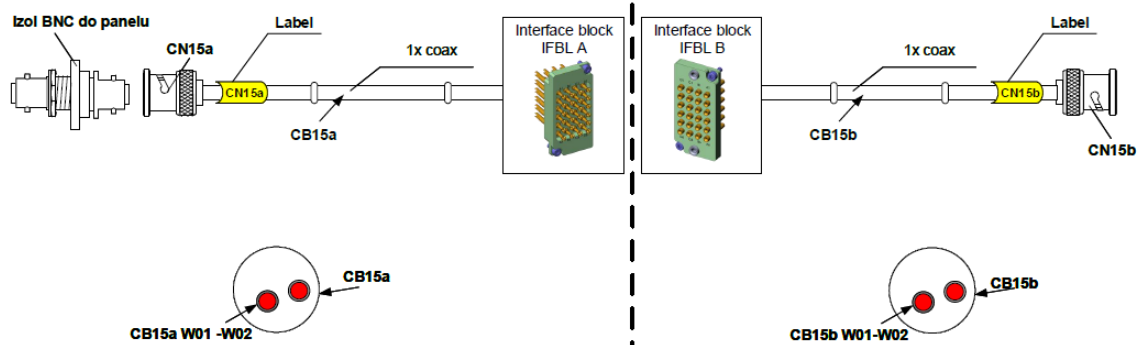


Strana TPR



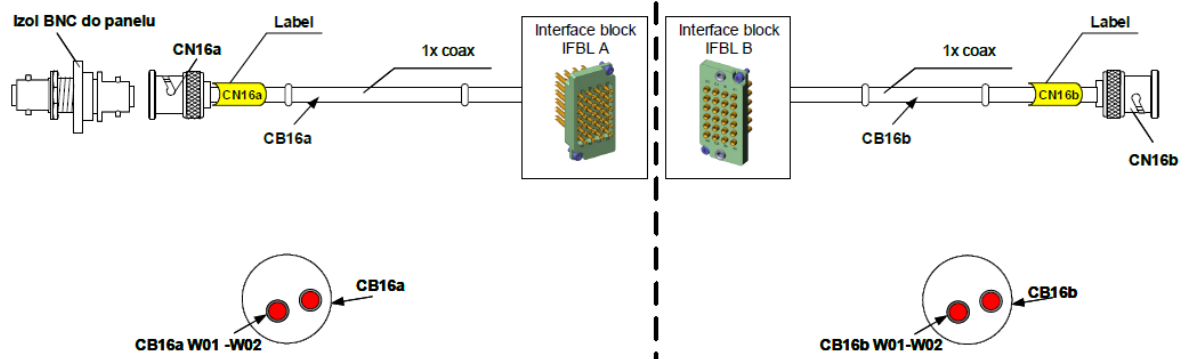
Strana panelu

Strana TPR



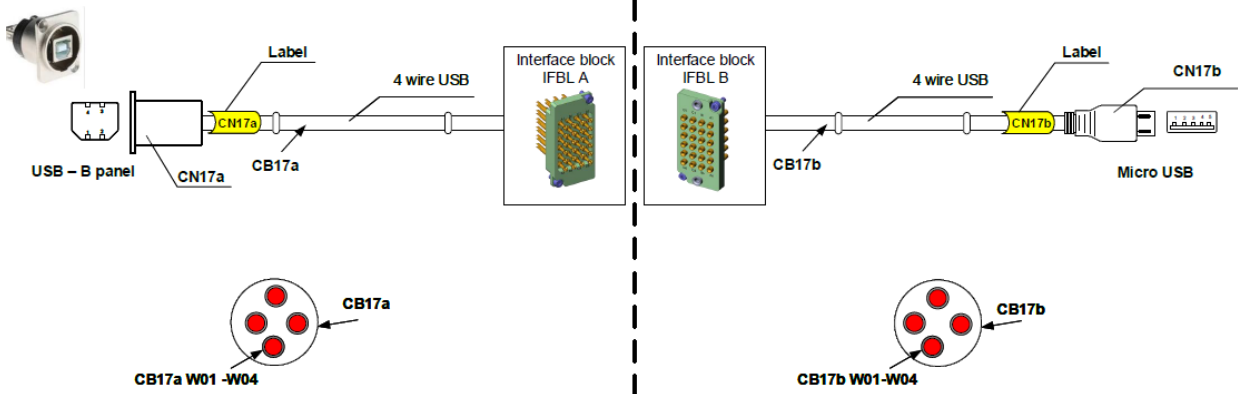
Strana panelu

Strana TPR



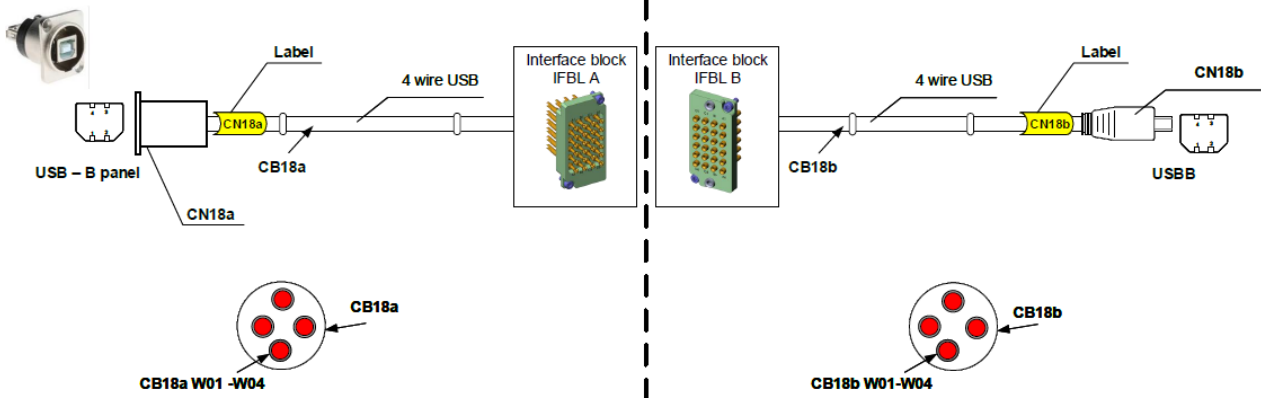
Strana panelu

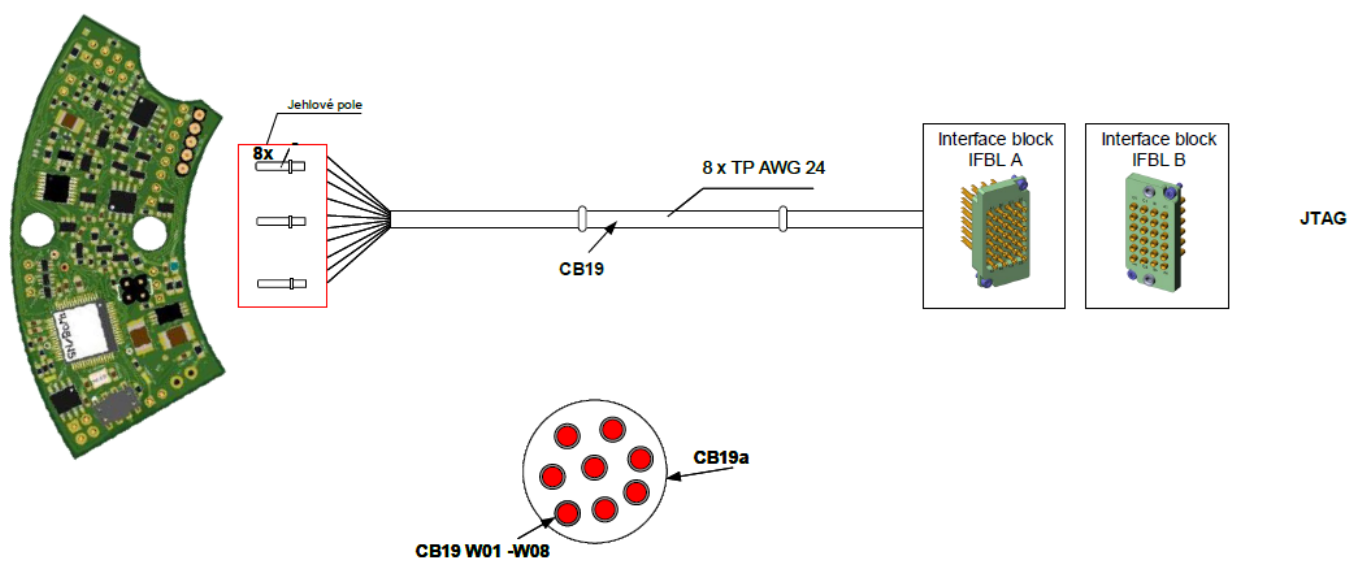
Strana TPR



Strana panelu

Strana TPR





J Špecifikácia konektorov TJP1

Popis	Vodič	Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin
CB01.1.W01	AWG 24 TW-SH	BEMP	K5 - 4	CN01	1
		x	x	CN01	2
CB01.1.W02	AWG 24 TW-SH	BEMP	K5 - 8	CN01	3
		x	x	CN01	4
CB01.W01	AWG 24 SH	BEMP	K6 - 2	CN01	5
		x	x	CN01	6
CB01.2.W01	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 7	CN01	7
		x	x	CN01	8
CB01.W02	AWG 24 SH	BEMP	K5 - 6	CN01	9
		x	x	CN01	10
CB01.W03	AWG 24 SH	BEMP	K6 - 3	CN01	11
		x	x	CN01	12
CB01.W04	AWG 24 SH	BEMP	K6 - 1	CN01	13
		x	x	CN01	14
CB01.2.W02	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 6	CN01	15

TW-SH --Twisted wire shielded

SH -- Shielded

Popis	Vodič	Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin
CB02.1.W01	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 5	CN02	1
		x	x	CN02	2
CB02.2.W01	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 3	CN02	3
		x	x	CN02	4
CB02.3.W01	AWG 24 TW-SH	BEMP	K7 - 1	CN02	5
		x	x	CN02	6
		x	x	CN02	7
CB02.W01	AWG 24 SH	BEMP	K7 - 2	CN02	8
CB02.1.W02	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 4	CN02	9
		x	x	CN02	10
CB02.2.W02	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 2	CN02	11
		x	x	CN02	12
CB02.3.W02	AWG 24 TW-SH	BEMP	K7 - 3	CN02	13
		x	x	CN02	14
CB02.W02	AWG 24 SH	BEMP	K7 - 4	CN02	15

TW-SH --Twisted wire shielded

SH -- Shielded

Popis	Vodič		Strana 1		Strana 2	
	Typ		Kon	Pin	Kon	Pin
CB03.W01	AWG 24		BEMP	K2 - 1	CN03	1
CB03.W02	AWG 24		BEMP	K1 - 8	CN03	2
CB03.W03	AWG 24		BEMP	K1 - 1	CN03	3
CB03.W04	AWG 24		BEMP	K4 - 3	CN03	4
CB03.W05	AWG 24		BEMP	K4 - 2	CN03	5
CB03.W06	AWG 24		BEMP	K4 - 1	CN03	6
CB03.W07	AWG 24		BEMP	K8 - 2	CN03	7
CB03.W08	AWG 24		BEMP	K8 - 1	CN03	8
CB03.W09	AWG 24		BEMP	K2 - 2	CN03	9
CB03.W10	AWG 24		BEMP	K5 - 1	CN03	10
CB03.W11	AWG 24		BEMP	K5 - 2	CN03	11
CB03.W12	AWG 24		BEMP	K5 - 3	CN03	12
CB03.W13	AWG 24		BEMP	K5 - 5	CN03	13
CB03.W14	AWG 24		BEMP	K5 - 7	CN03	14
			x	x	CN03	15

Popis	Vodič	Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin
CB04.1.W01	AWG 24 TW-SH	BEMC	K5 - 4	CN04	1
		x	x	CN04	2
CB04.1.W02	AWG 24 TW-SH	BEMC	K5 - 8	CN04	3
		x	x	CN04	4
CB04.W01	AWG 24 SH	BEMC	K6 - 2	CN04	5
		x	x	CN04	6
CB04.2.W01	AWG 24 TW-SH	BEMC	K1 - 7	CN04	7
		x	x	CN04	8
CB04.W02	AWG 24 SH	BEMC	K5 - 6	CN04	9
		x	x	CN04	10
CB04.W03	AWG 24 SH	BEMC	K6 - 3	CN04	11
		x	x	CN04	12
CB04.W04	AWG 24 SH	BEMC	K6 - 1	CN04	13
		x	x	CN04	14
CB04.2.W02	AWG 24 TW-SH	BEMC	K1 - 6	CN04	15

TW-SH --Twisted wire shielded

SH -- Shielded

Popis	Vodič	Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin
CB05.1.W01	AWG 24 TW-SH	BEMC	K1 - 5	CN05	1
		x	x	CN05	2
CB05.2.W01	AWG 24 TW-SH	BEMC	K1 - 3	CN05	3
		x	x	CN05	4
CB05.3.W01	AWG 24 TW-SH	BEMC	K7 - 1	CN05	5
		x	x	CN05	6
		x	x	CN05	7
CB02.W01	AWG 24 SH	BEMC	K7 - 2	CN05	8
CB05.1.W02	AWG 24 TW-SH	BEMC	K1 - 4	CN05	9
		x	x	CN05	10
CB05.2.W02	AWG 24 TW-SH	BEMC	K1 - 2	CN05	11
		x	x	CN05	12
CB05.3.W02	AWG 24 TW-SH	BEMC	K7 - 3	CN05	13
		x	x	CN05	14
CB05.W02	AWG 24 SH	BEMC	K7 - 4	CN05	15

TW-SH --Twisted wire shielded

SH -- Shielded

Popis	Vodič		Strana 1		Strana 2	
	Typ		Kon	Pin	Kon	Pin
CB06.W01	AWG 24		BEMC	K2 - 1	CN06	1
CB06.W02	AWG 24		BEMC	K1 - 8	CN06	2
CB06.W03	AWG 24		BEMC	K1 - 1	CN06	3
CB06.W04	AWG 24		BEMC	K4 - 3	CN06	4
CB06.W05	AWG 24		BEMC	K4 - 2	CN06	5
CB06.W06	AWG 24		BEMC	K4 - 1	CN06	6
CB06.W07	AWG 24		BEMC	K3 - 2	CN06	7
CB06.W08	AWG 24		BEMC	K3 - 1	CN06	8
CB06.W09	AWG 24		BEMC	K2 - 2	CN06	9
CB06.W10	AWG 24		BEMC	K5 - 1	CN06	10
CB06.W11	AWG 24		BEMC	K5 - 2	CN06	11
CB06.W12	AWG 24		BEMC	K5 - 3	CN06	12
CB06.W13	AWG 24		BEMC	K5 - 5	CN06	13
CB06.W14	AWG 24		BEMC	K5 - 7	CN06	14
			x	x		15

Popis	Vodič	Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin
CB07.W01	AWG 24	CN07a	1	CN07b	1
CB07.W02	AWG 24	CN07a	2	CN07b	2
CB07.W03	AWG 24	CN07a	3	CN07b	3
CB07.W04	AWG 24	CN07a	4	CN07b	4
CB07.W05	AWG 24	CN07a	5	CN07b	5
CB07.W06	AWG 24	CN07a	6	CN07b	6
CB07.W07	AWG 24	CN07a	7	CN07b	7
CB07.W08	AWG 24	CN07a	8	CN07b	8
		CN07a	x	CN07b	x
CB07.W09	AWG 24	CN07a	10	CN07b	10
CB07.W10	AWG 24	CN07a	11	CN07b	11
CB07.W11	AWG 24	CN07a	12	CN07b	12
CB07.W12	AWG 24	CN07a	13	CN07b	13
CB07.W13	AWG 24	CN07a	14	CN07b	14
CB07.W14	AWG 24	CN07a	15	CN07b	15
CB07.W15	AWG 24	CN07a	16	CN07b	16
CB07.W16	AWG 24 SH	CN07a	17	CN07b	17
CB07.W17	AWG 24	CN07a	18	CN07b	18
CB07.2.W01	AWG 24 TW-SH	CN07a	19	CN07b	19
CB07.W18	AWG 24	CN07a	20	CN07b	20
CB07.W19	AWG 24	CN07a	21	CN07b	21
CB07.W20	AWG 24	CN07a	22	CN07b	22
CB07.W21	AWG 24	CN07a	23	CN07b	23
CB07.W22	AWG 24	CN07a	24	CN07b	24
CB07.W23	AWG 24	CN07a	25	CN07b	25
CB07.W24	AWG 24	CN07a	26	CN07b	26
CB07.W25	AWG 24	CN07a	27	CN07b	27
CB07.W26	AWG 24	CN07a	28	CN07b	28
CB07.W27	AWG 24	CN07a	29	CN07b	29
CB07.W28	AWG 24	CN07a	30	CN07b	30
CB07.W29	AWG 24	CN07a	31	CN07b	31
CB07.W30	AWG 24	CN07a	32	CN07b	32
CB07.W31	AWG 24 SH	CN07a	33	CN07b	33
CB07.W32	AWG 24	CN07a	34	CN07b	34
CB07.W33	AWG 24 SH	CN07a	35	CN07b	35
CB07.W34	AWG 24	CN07a	36	CN07b	36
CB07.2.W02	AWG 24 TW-SH	CN07a	37	CN07b	37

Popis	Vodič	Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin
		x	x	CN08	1
		x	x	CN08	2
		x	x	CN08	3
		x	x	CN08	4
		x	x	CN08	5
		x	x	CN08	6
CB08.W01	AWG 24 SH	BEMP	K6 - 1	CN08	7
		x	x	CN08	8
CB08.W02	AWG 24 SH	BEMP	K6 - 2	CN08	9
		x	x	CN08	10
CB08.W03	AWG 24 SH	BEMP	K6 - 3	CN08	11
		x	x	CN08	12
CB08.W04	AWG 24	BEMC	Cr	CN08	13
CB08.W05	AWG 24	BEMC	Al	CN08	14
CB08.W06	AWG 24	BEMC	K55 - 1	CN08	15
CB08.W07	AWG 24	BEMC	K55 - 2	CN08	16
CB08.W08	AWG 24	BEMC	K55 - 3	CN08	17
CB08.W09	AWG 24	BEMC	K55 - 4	CN08	18
CB08.W10	AWG 24	BEMC	K8 - 4	CN08	19
CB08.1.W01	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 7	CN08	20
CB08.1.W02	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 6	CN08	21
		x	x	CN08	22
CB08.2.W01	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 5	CN08	23
CB08.2.W02	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 4	CN08	24
		x	x	CN08	25
CB08.3.W01	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 3	CN08	26
CB08.3.W02	AWG 24 TW-SH	BEMP	K1 - 2	CN08	27
		x	x	CN08	28
CB08.W11	AWG 20	BEMP	K3 - 1	CN08	29
CB08.W12	AWG 20	BEMP	K3 - 2	CN08	30
CB08.W13	AWG 20	BEMP	K3 - 3	CN08	31
CB08.W14	AWG 20	BEMP	K3 - 4	CN08	32
CB08.W15	AWG 20	BEMP	K3 - 5	CN08	33
CB08.W16	AWG 20	BEMP	K3 - 6	CN08	34
		x	x	CN08	35
CB08.4.W01	AWG 24 TW-SH	BEMP	P8	CN08	36
CB08.4.W02	AWG 24 TW-SH	BEMP	P9	CN08	37

TW-SH --Twiste

SH -- Shielded

Popis	Vodič	Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin
CB09.W01	AWG 24	CN09a	1	CN09b	1
CB09.W02	AWG 24	CN09a	2	CN09b	2
CB09.W03	AWG 24	CN09a	3	CN09b	3
CB09.W04	AWG 24	CN09a	4	CN09b	4
CB09.W05	AWG 24	CN09a	5	CN09b	5
CB09.W06	AWG 24	CN09a	6	CN09b	6
CB09.W07	AWG 24	CN09a	7	CN09b	7
CB09.W08	AWG 24	CN09a	8	CN09b	8
CB09.W09	AWG 24	CN09a	20	CN09b	9
CB09.W10	AWG 24	CN09a	30	CN09b	10
		x	x	CN09b	11
CB09.W11	AWG 24	CN09a	9	CN09b	12
CB09.W12	AWG 24	CN09a	12	CN09b	13
CB09.W13	AWG 24	CN09a	15	CN09b	14
CB09.W14	AWG 24	CN09a	17	CN09b	15
CB09.W15	AWG 24	CN09a	19	CN09b	16
CB09.W16	AWG 24	CN09a	29	CN09b	17
CB09.W17	AWG 24	CN09a	31	CN09b	18
CB09.W18	AWG 24	CN09a	40	CN09b	19
CB09.W19	AWG 24	CN09a	21	CN09b	20
CB09.W20	AWG 24	CN09a	22	CN09b	21
CB09.W21	AWG 24	CN09a	23	CN09b	22
CB09.W22	AWG 24	CN09a	24	CN09b	23
CB09.W23	AWG 24	CN09a	25	CN09b	24
CB09.W24	AWG 24	CN09a	26	CN09b	25
CB09.W25	AWG 24	CN09a	27	CN09b	26
CB09.W26	AWG 24	CN09a	28	CN09b	27
		x	x	CN09b	28
		x	x	CN09b	29
CB09.W27	AWG 24	CN09a	32	CN09b	30
CB09.W28	AWG 24	CN09a	33	CN09b	31
CB09.W29	AWG 24	CN09a	34	CN09b	32
CB09.W30	AWG 24	CN09a	35	CN09b	33
CB09.W31	AWG 24	CN09a	36	CN09b	34
CB09.W32	AWG 24	CN09a	37	CN09b	35
CB09.W33	AWG 24	CN09a	38	CN09b	36
CB09.W34	AWG 24	CN09a	39	CN09b	37

Popis	Vodič	Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin
CB10.W01	AWG 24	CN10a	1	CN10b	1
CB10.W02	AWG 24	CN10a	2	CN10b	2
CB10.W03	AWG 24	CN10a	3	CN10b	3
CB10.W04	AWG 24	CN10a	4	CN10b	4
CB10.W05	AWG 24	CN10a	5	CN10b	5
CB10.W06	AWG 24	CN10a	6	CN10b	6
CB10.W07	AWG 24	CN10a	7	CN10b	7
CB10.W08	AWG 24	CN10a	8	CN10b	8
CB10.W09	AWG 24	CN10a	9	CN10b	9
CB10.W10	AWG 24	CN10a	10	CN10b	10
CB10.W11	AWG 24	CN10a	11	CN10b	11
CB10.W12	AWG 24	CN10a	12	CN10b	12
CB10.W13	AWG 24	CN10a	13	CN10b	13
CB10.W14	AWG 24	CN10a	14	CN10b	14
CB10.W15	AWG 24	CN10a	15	CN10b	15
CB10.W16	AWG 24	CN10a	16	CN10b	16
		x	x	CN10b	17
		x	x	CN10b	18
		x	x	CN10b	19
CB10.W17	AWG 24	CN10a	17	CN10b	20
CB10.W18	AWG 24	CN10a	18	CN10b	21
CB10.W19	AWG 24	CN10a	19	CN10b	22
CB10.W20	AWG 24	CN10a	20	CN10b	23
CB10.W21	AWG 24	CN10a	21	CN10b	24
CB10.W22	AWG 24	CN10a	22	CN10b	25
CB10.W23	AWG 24	CN10a	23	CN10b	26
CB10.W24	AWG 24	CN10a	24	CN10b	27
		x	x	CN10b	28
CB10.W25	AWG 24	CN10a	26	CN10b	29
		x	x	CN10b	30
		x	x	CN10b	31
CB10.W26	AWG 24	CN10a	29	CN10b	32
CB10.W27	AWG 24	CN10a	30	CN10b	33
CB10.W28	AWG 24	CN10a	31	CN10b	34
CB10.W29	AWG 24	CN10a	32	CN10b	35
		x	x	CN10b	36
		x	x	CN10b	37

Popis	Vodič	Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin
CB20.W01	AWG 18	BEMP	P11	CN20	1
CB20.W02	AWG 18	BEMP	P11a	CN20	2
CB20.W03	AWG 18	BEMP	P10	CN20	3
CB20.W04	AWG 18	BEMP	P10a	CN20	4

Popis	Vodič	Strana 1		Strana 2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin
CB11.W01	AWG 18	BEMP	P3	CN11	1
CB11.W02	AWG 18	BEMP	P4	CN11	2
CB11.W03	AWG 18	BEMP	P5	CN11	3

Popis	Vodič	Strana 1.1		Strana 1.2		Strana 2.1		Strana 2.2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin
CB12a.W01, CB12b.W01	AWG 18	CN12a	A1	IFBL A	1*	IFBL B	1*	CN12b	1
CB12.W02, CB12b.W02	AWG 18	CN12a	A2	IFBL A	2*	IFBL B	2*	CN12b	2
CB12.W03, CB12b.W03	AWG 18	CN12a	A3	IFBL A	3*	IFBL B	3*	CN12b	3

* Pin na interface block nemusí presne zodpovedať danému číslu pinu, je však nutné aby boli piny navzájom prepojené

Popis	Vodič	Strana 1.1		Strana 1.2		Strana 2.1		Strana 2.2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin
CB13a.W01, CB13b.W01	AWG 24	CN13a	2	IFBL A	1*	IFBL B	1*	CN13b	2
CB13a.W02, CB13b.W02	AWG 24	CN13a	3	IFBL A	2*	IFBL B	2*	CN13b	3
CB13a.W03, CB13b.W03	AWG 24	CN13a	4	IFBL A	3*	IFBL B	3*	CN13b	4
CB13a.W04, CB13b.W04	AWG 24	CN13a	5	IFBL A	4*	IFBL B	4*	CN13b	5
CB13a.1 W01, CB13c.W01	AWG 24 TW-SH	CN13a	8	IFBL A	5*	IFBL B	5*	CN13c	7
CB13a.1W01, CB13c.W02	AWG 24 TW-SH	CN13a	9	IFBL A	6*	IFBL B	6*	CN13c	2

TW-SH --Twisted wire shielded

* Pin na interface block nemusí presne zodpovedať danému číslu pinu, je však nutné aby boli piny navzájom prepojené

Popis	Vodič	Strana 1.2		Strana 1.2		Strana 2.1		Strana 2.1	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin
CB14.W01	AWG 18	CN14a.1	1	IFBL A	1*	IFBL B	1*	CN14b.1	1
CB14.W02	AWG 18	CN14a.1	1	IFBL A	2*	IFBL B	2*	CN14b.1	2
CB14.W01	AWG 18	CN14a.2	1	IFBL A	1*	IFBL B	1*	CN14b.1	3
CB14.W02	AWG 18	CN14a.2	1	IFBL A	2*	IFBL B	2*	CN14b.1	4
CB14.W05	AWG 22	CN14a.3	1	IFBL A	3*	IFBL B	3*	CN14b.2	1
CB14.W06	AWG 22	CN14a.4	1	IFBL A	4*	IFBL B	4*	CN14b.2	2
CB14.W07	AWG 22	CN14a.5	1	IFBL A	5*	IFBL B	5*	CN14b.3	1
CB14.W08	AWG 22	CN14a.6	1	IFBL A	6*	IFBL B	6*	CN14b.3	2

* Pin na interface block nemusí presne zodpovedať danému číslu pinu, je však nutné aby boli piny navzájom prepojené

Popis	Vodič	Strana 1.1		Strana 1.2		Strana 2.1		Strana 2.2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin
CB15.W01	Coax	CN15a	1	IFBL A	1*	IFBL B	1*	CN15b	1
CB15.W02	Coax	CN15a	2	IFBL A	2*	IFBL B	2*	CN15b	2

* Pin na interface block nemusí presne zodpovedať danému číslu pinu, je však nutné aby boli piny navzájom prepojené

Popis	Vodič	Strana 1.1		Strana 1.2		Strana 2.1		Strana 2.2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin
CB16.W01	Coax	CN16a	1	IFBL A	1*	IFBL B	1*	CN16b	1
CB16.W02	Coax	CN16a	2	IFBL A	2*	IFBL B	2*	CN16b	2

* Pin na interface block nemusí presne zodpovedať danému číslu pinu, je však nutné aby boli piny navzájom prepojené

Popis	Vodič	Strana 1.1		Strana 1.2		Strana 2.1		Strana 2.2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin
CB17a.W01, CB17b.W01	4 wire USB	CN17a	+5V	IFBL A	1*	IFBL B	1*	CN17b	+5V
CB17a.W02, CB17b.W02	4 wire USB	CN17a	DATA +	IFBL A	2*	IFBL B	2*	CN17b	DATA +
CB17a.W03, CB17b.W03	4 wire USB	CN17a	DATA -	IFBL A	3*	IFBL B	3*	CN17b	DATA -
CB17a.W04, CB17b.W04	4 wire USB	CN17a	GND	IFBL A	4*	IFBL B	4*	CN17b	GND

* Pin na interface block nemusí presne zodpovedať danému číslu pinu, je však nutné aby boli piny navzájom prepojené

Popis	Vodič	Strana 1.1		Strana 1.2		Strana 2.1		Strana 2.2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin
CB18a.W01, CB18b.W01	4 wire USB	CN18a	+5V	IFBL A	1*	IFBL B	1*	CN18b	+5V
CB18a.W02, CB18b.W02	4 wire USB	CN18a	DATA +	IFBL A	2*	IFBL B	2*	CN18b	DATA +
CB18a.W03, CB18b.W03	4 wire USB	CN18a	DATA -	IFBL A	3*	IFBL B	3*	CN18b	DATA -
CB18a.W04, CB18b.W04	4 wire USB	CN18a	GND	IFBL A	4*	IFBL B	4*	CN18b	GND

* Pin na interface block nemusí presne zodpovedať danému číslu pinu, je však nutné aby boli piny navzájom prepojené

Popis	Vodič		Strana 1.1		Strana 1.2		Strana 2.1		Strana 2.2	
	Typ	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin	Kon	Pin	
CB19.W01	AWG 24	BEMC	K30_1	IFBL A	1*	IFBL B	1*	JTAG**	1	
CB19.W02	AWG 24	BEMC	K30_2	IFBL A	2*	IFBL B	2*	JTAG**	2	
CB19.W03	AWG 24	BEMC	K30_3	IFBL A	3*	IFBL B	3*	JTAG**	3	
CB19.W04	AWG 24	BEMC	K30_4	IFBL A	4*	IFBL B	4*	JTAG**	4	
CB19.W05	AWG 24	BEMC	K30_5	IFBL A	5*	IFBL B	5*	JTAG**	5	
CB19.W06	AWG 24	BEMC	K30_6	IFBL A	6*	IFBL B	6*	JTAG**	6	
CB19.W07	AWG 24	BEMC	K30_7	IFBL A	7*	IFBL B	7*	JTAG**	7	
CB19.W08	AWG 24	BEMC	K30_8	IFBL A	8*	IFBL B	8*	JTAG**	8	

* Pin na interface block nemusí presne zodpovedať danému číslu pinu, je však nutné aby boli piny navzájom prepojené

** Programátor JTAG zabudovaný vo fixtúre

K Oživovací postup DPS BTES

Postup overenia HW dosky BTES

OBSAH

Postup ovERENIA dOsky BTES	4
1.1 Základná kotntrola	4
1.2 Kontrola odberu napájacích zdrojů BTES	4
1.3 Kontrola digitálních signálov	4
1.3.1 Kontrola vstupu C0	5
1.3.2 Kontrola vstupu C1	5
1.3.3 Kontrola vstupu C2	5
1.3.4 Kontrola vstupu C3	5
1.3.5 Kontrola vstupu A0	5
1.3.6 Kontrola vstupu A1	5
1.3.7 Kontrola vstupu A2	5
1.3.8 Kontrola vstupu A3	5
1.3.9 Kontrola vstupu A4	6
1.3.10 Kontrola vstupu A5	6
1.3.11 Kontrola vstupu A6	6
1.3.12 Kontrola vstupu A7	7
1.3.13 Kontrola vstupu B0	7
1.3.14 Kontrola vstupu B1	7
1.3.15 Kontrola vstupu B2	7
1.3.16 Kontrola vstupu B3	8
1.3.17 Kontrola vstupu B4	8
1.3.18 Kontrola vstupu B5	8
1.3.19 Kontrola vstupu B6	8
1.3.20 Kontrola vstupu B7	8
1.3.21 Kontrola vstupu DIO0	8
1.3.22 Kontrola vstupu DIO1	9
1.3.23 Kontrola vstupu DIO2	9
1.3.24 Kontrola vstupu DIO3	9
1.3.25 Kontrola vstupu DIO4	9
1.3.26 Kontrola vstupu DIO5	9
1.3.27 Kontrola vstupu DIO5	10
1.3.28 Kontrola vstupu DIO6	10
1.3.29 Kontrola vstupu DIO7	10
1.4 Kontrola blokov Open-short detection MOSFET	10
1.4.1 Kontrola funkcie bloku TC-0006	10
1.4.2 Kontrola funkcie bloku TC-0012	11
1.4.3 Kontrola funkcie bloku TC-0007	11
1.4.4 Kontrola funkcie bloku TC-0008	11
1.4.5 Kontrola funkcie bloku TC-0015	11
1.4.6 Kontrola funkcie bloku TC-0011	11
1.4.7 Kontrola funkcie bloku TC-0005	12
1.4.8 Kontrola funkcie bloku TC-0014	12
1.4.9 Kontrola funkcie bloku TC-0013	12
1.4.10 Kontrola funkcie bloku TC-0009	12
1.4.11 Kontrola funkcie bloku TC-0010	12
1.5 Kontrola blokov Open-Short detection	13
1.5.1 Kontrola funkcie bloku BEMC_TC-0001	13
1.5.2 Kontrola funkcie bloku BEMC_TC-0002	13
1.5.3 Kontrola funkcie bloku BEMC_TC-0003	13
1.5.4 Kontrola funkcie bloku TC-0001	14
1.5.5 Kontrola funkcie bloku TC-0002	14

1.5.6	Kontrola funkcie bloku TC-0003.....	14
1.5.7	Kontrola funkcie bloku TC-0004.....	14
1.6	Kontrola blokov CAN TEST	15
1.7	Kontrola + kalibrácia merania prúdu U4.....	15
1.8	Overenie funkcie PT-100.....	15

POSTUP OVERENIA DOSKY BTES

1.1 Základná kotntrola

- Opticky overiť osadenie súčiastok.
- Overiť možný skrat uvedených meracích bodov:

Typ	Bod-Pin, Signál	Bod-Pin, Signál	Výstup testu
Skrat	K10-2	GND	Bez skratu
Skrat	+12V-PWR	GND	Bez skratu
Skrat	+12V-BINT	GND	Bez skratu
Skrat	+5V-PWR	GND	Bez skratu
Skrat	+5V	GND	Bez skratu
Skrat	+5V-REF	GND	Bez skratu
Skrat	+1V-REF	GND	Bez skratu
Skrat	K5-2	K5-1	Bez skratu
Skrat	K4-4,3	K4-2,1	Bez skratu
Skrat	M18, Vin	PGND	Bez skratu
Skrat	K10-2	GND	Bez skratu

1.2 Kontrola odberu napájacích zdrojů BTES

- Pokiaľ nie sú detekované skraty, zariadenie je možné pripojiť na napájanie konektorom K10. Na regulovanom zdroji pripojenom ku K10 nastaviť 14V, prúdové obmedzenie 0,05 A. Prúd tečúci do zariadenia by sa mal nachádzať v rozsahu 20 – 35 mA.
- Voltmetrom zmerať napätie uvedených meracích bodov:

Typ	Bod-Pin, Signál	Bod-Pin, Signál	Hodnota [V]
Výstupní napětí	+12V-PWR	GND	11,8 ÷ 12,2
Výstupní napětí	+12V-BINT	GND	11,8 ÷ 12,2
Výstupní napětí	+5V-PWR	GND	4,9 ÷ 5,1
Výstupní napětí	+5V	GND	4,9 ÷ 5,1
Výstupní napětí	+5V-REF	GND	4,95 ÷ 5,05
Výstupní napětí	+1V-REF	GND	0,95 ÷ 1,05
Výstupní napětí	M20	BATGND	4,95 ÷ 5,05
Výstupní napětí	M22	BATGND	
Výstupní napětí	M23	BATGND	

- Vypni zdroj

1.3 Kontrola digitálních signálov

Na regulovanom zdroji pripojenom ku K10 nastaviť 14V, prúdové obmedzenie 0,2 A. Všetky merania sú vykonávané voči GND pokiaľ nie je uvedené inak.

1.3.1 Kontrola vstupu C0

- Pripoj multimeter na merací bod M29. Napätie M29 musí byť 0 V.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 1.
- Pripoj multimeter na merací bod M29. Napätie M29 musí byť 5 V.

1.3.2 Kontrola vstupu C1

- Pripoj multimeter na merací bod M29. Napätie M30 musí byť 0 V.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 2.
- Pripoj multimeter na merací bod M29. Napätie M30 musí byť 5 V.

1.3.3 Kontrola vstupu C2

- Pripoj multimeter na merací bod M29. Napätie M31 musí byť 0 V.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 3.
- Pripoj multimeter na merací bod M29. Napätie M31 musí byť 5 V.

1.3.4 Kontrola vstupu C3

- Pripoj multimeter na merací bod M29. Napätie M32 musí byť 5 V.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 4.
- Pripoj multimeter na merací bod M29. Napätie M32 musí byť 0 V.

1.3.5 Kontrola vstupu A0

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE14_D.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 21.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE14_D.

1.3.6 Kontrola vstupu A1

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE14_E.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 22.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE14_E.

1.3.7 Kontrola vstupu A2

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE14_F.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE14_G.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 23.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE14_F.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE14_G.

1.3.8 Kontrola vstupu A3

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE15_B.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE17_B.

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE17_C.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE17_A.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE15_F.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE17_F.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE17_D.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 24.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE15_B.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE17_B.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE17_C.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE17_A.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE15_F.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE17_F.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE17_D.

1.3.9 Kontrola vstupu A4

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE15_C.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE15_E.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE17_E.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE15_D.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 25.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE15_C.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE15_E.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE17_E.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE15_D.

1.3.10 Kontrola vstupu A5

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE14_A.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE14_B.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE14_C.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 26.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE14_A.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE14_B.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE14_C.

1.3.11 Kontrola vstupu A6

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE8_A.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 27.

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE8_A.

1.3.12 Kontrola vstupu A7

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE9.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE35.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE32.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE33.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE31.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE34.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE30.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 28.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE9.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE35.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE32.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE33.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE31.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE34.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE30.

1.3.13 Kontrola vstupu B0

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE28.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE10.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 32.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE28.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE10.

1.3.14 Kontrola vstupu B1

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE16.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE29.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 33.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE19.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE29.

1.3.15 Kontrola vstupu B2

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE17.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 34.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE17.

1.3.16 Kontrola vstupu B3

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE18.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE19.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE20.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 35.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE18.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE19.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE20.

1.3.17 Kontrola vstupu B4

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE24.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE25.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 36.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE24.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE25.

1.3.18 Kontrola vstupu B5

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE26.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 37.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE26.
-

1.3.19 Kontrola vstupu B6

- TBD

1.3.20 Kontrola vstupu B7

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE21.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE22.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE23.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 37.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE21.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE22.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE23.

1.3.21 Kontrola vstupu DIO0

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE1.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 17.

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE1.

1.3.22 Kontrola vstupu DIO1

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE2.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 18.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE2.

1.3.23 Kontrola vstupu DIO2

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE3.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 19.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE3.

1.3.24 Kontrola vstupu DIO3

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE4.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE27.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 20.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE4.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE27.

1.3.25 Kontrola vstupu DIO4

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE5.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE6.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 21.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE5.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE6.

1.3.26 Kontrola vstupu DIO5

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE11.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE12.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE13.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE36.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 22.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE11.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE12.

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE13.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE36.

1.3.27 Kontrola vstupu DIO5

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE11.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE12.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE13.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE36.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 22.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE11.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE12.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE13.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE36.

1.3.28 Kontrola vstupu DIO6

- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NC relé RE7.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 23.
- Multimetrom over prepojenie pinov COM a NO relé RE7.

1.3.29 Kontrola vstupu DIO7

- Pripoj multimeter na merací bod K1 - 5. Napätie K1 - 5 musí byť 0 V.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 24.
- Pripoj multimeter na merací bod K1 - 5. Napätie K1 - 5 musí byť 5 V.
- Vypni zdroj

1.4 Kontrola blokov Open-short detection MOSFET

Na regulovanom zdroji pripojenom ku K10 nastaviť 14V, prúdové obmedzenie 0,2 A. Všetky merania sú vykonávané voči GND pokiaľ nie je uvedené inak.

1.4.1 Kontrola funkcie bloku TC-0006

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 24.
- Pripoj multimeter na merací bod M48_B. Napätie M48_B musí byť 0 V.
- Prepoj signál K1 – 8 so signálom K1 – 7
- Pripoj multimeter na merací bod M48_B. Napätie M48_B musí byť 5 V.
- Rozpoj prepojenie K1
- Odpoj napätie z U15 – 24

1.4.2 Kontrola funkcie bloku TC-0012

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 24.
- Pripoj multimeter na merací bod M49_B. Napätie M49_B musí byť 0 V.
- Preprij signál K1 – 35 so signálom K1 – 7
- Pripoj multimeter na merací bod M49_B. Napätie M49_B musí byť 5 V.
- Rozpoj prepojenie K1
- Odpoj napätie z U15 – 24

1.4.3 Kontrola funkcie bloku TC-0007

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 25.
- Pripoj multimeter na merací bod M48_C. Napätie M48_C musí byť 0 V.
- Preprij signál K1 – 11 so signálom K1 – 15
- Pripoj multimeter na merací bod M48_C. Napätie M48_C musí byť 5 V.
- Rozpoj prepojenie K1
- Odpoj napätie z U15 – 25

1.4.4 Kontrola funkcie bloku TC-0008

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 24.
- Pripoj multimeter na merací bod M49_C. Napätie M49_C musí byť 0 V.
- Preprij signál K1 – 11 so signálom K1 – 7
- Pripoj multimeter na merací bod M49_C. Napätie M49_C musí byť 5 V.
- Rozpoj prepojenie K1
- Odpoj napätie z U15 – 24

1.4.5 Kontrola funkcie bloku TC-0015

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 24.
- Pripoj multimeter na merací bod M49_A. Napätie M49_A musí byť 0 V.
- Preprij signál K2 – 30 so signálom K1 – 7
- Pripoj multimeter na merací bod M49_A. Napätie M49_A musí byť 5 V.
- Rozpoj prepojenie K1 – K2
- Odpoj napätie z U15 – 24

1.4.6 Kontrola funkcie bloku TC-0011

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 25.
- Pripoj multimeter na merací bod M48_E. Napätie M48_E musí byť 0 V.
- Preprij signál K1 – 35 so signálom K1 – 15

- Pripoj multimeter na merací bod M48_E. Napätie M48_E musí byť 5 V.
- Rozpoj prepojenie K1
- Odpoj napätie z U15 – 25

1.4.7 Kontrola funkcie bloku TC-0005

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 25.
- Pripoj multimeter na merací bod M49_E. Napätie M49_E musí byť 0 V.
- Prepoj signál K1 –15 so signálom K1 – 8
- Pripoj multimeter na merací bod M49_E. Napätie M49_E musí byť 5 V.
- Rozpoj prepojenie K1
- Odpoj napätie z U15 – 25

1.4.8 Kontrola funkcie bloku TC-0014

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 24.
- Pripoj multimeter na merací bod M48_F. Napätie M48_F musí byť 0 V.
- Prepoj signál K2 – 32 so signálom K1 – 7
- Pripoj multimeter na merací bod M48_F. Napätie M48_F musí byť 5 V.
- Rozpoj prepojenie K1 – K2
- Odpoj napätie z U15 – 24

1.4.9 Kontrola funkcie bloku TC-0013

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 24.
- Pripoj multimeter na merací bod M49_F. Napätie M49_F musí byť 0 V.
- Prepoj signál K2 – 34 so signálom K1 – 7
- Pripoj multimeter na merací bod M49_F. Napätie M49_F musí byť 5 V.
- Rozpoj prepojenie K1 – K2
- Odpoj napätie z U15 – 24

1.4.10 Kontrola funkcie bloku TC-0009

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 25.
- Pripoj multimeter na merací bod M48_D. Napätie M48_D musí byť 0 V.
- Prepoj signál K1 – 12 so signálom K1 – 15
- Pripoj multimeter na merací bod M48_D. Napätie M48_D musí byť 5 V.
- Rozpoj prepojenie K1
- Odpoj napätie z U15 – 25

1.4.11 Kontrola funkcie bloku TC-0010

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 24.

- Pripoj multimeter na merací bod M49_D. Napätie M49_D musí byť 0 V.
- Pripoj signál K1 – 7 so signálom K1 – 12
- Pripoj multimeter na merací bod M49_D. Napätie M49_D musí byť 5 V.
- Rozpoj prepojenie K1
- Odpoj napätie z U15 – 24

1.5 Kontrola blokov Open-Short detection

1.5.1 Kontrola funkcie bloku BEMC_TC-0001

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 26.
- Pripoj multimeter na merací bod M35_A. Napätie M35_A musí byť 0 V.
- Pripoj signál K1 – 2 so signálom K2 – 19
- Pripoj multimeter na merací bod M35_A. Napätie M35_A musí byť 0 V.
- Pripoj rezistor 2k2 medzi signály K1 – 2 so signálom K2 – 19
- Pripoj multimeter na merací bod M35_A. Napätie M35_A musí byť 5 V.
- Odpoj rezistor
- Odpoj napätie z U15 – 26

1.5.2 Kontrola funkcie bloku BEMC_TC-0002

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 26.
- Pripoj multimeter na merací bod M35_B. Napätie M35_B musí byť 0 V.
- Pripoj signál K1 – 2 so signálom K1 – 3
- Pripoj multimeter na merací bod M35_B. Napätie M35_B musí byť 0 V.
- Pripoj rezistor 2k2 medzi signály K1 – 2 so signálom K1 – 3
- Pripoj multimeter na merací bod M35_B. Napätie M35_B musí byť 5 V.
- Odpoj rezistor
- Odpoj napätie z U15 – 26

1.5.3 Kontrola funkcie bloku BEMC_TC-0003

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 26.
- Pripoj multimeter na merací bod M35_C. Napätie M35_C musí byť 0 V.
- Pripoj signál K1 – 2 so signálom K1 – 4
- Pripoj multimeter na merací bod M35_C. Napätie M35_C musí byť 0 V.
- Pripoj rezistor 11k medzi signály K1 – 2 so signálom K1 – 4
- Pripoj multimeter na merací bod M35_C. Napätie M35_C musí byť 5 V.
- Odpoj rezistor
- Odpoj napätie z U15 – 26

1.5.4 Kontrola funkcie bloku TC-0001

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 21.
- Pripoj multimeter na merací bod M35_D. Napätie M35_D musí byť 0 V.
- Prepój signál K1 – 2 so signálom K1 – 4
- Pripoj multimeter na merací bod M35_D. Napätie M35_D musí byť 0 V.
- Pripoj rezistor 22k medzi signály K1 – 2 so signálom K1 – 4
- Pripoj multimeter na merací bod M35_D. Napätie M35_D musí byť 5 V.
- Odpoj rezistor
- Odpoj napätie z U15 – 21

1.5.5 Kontrola funkcie bloku TC-0002

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 22.
- Pripoj multimeter na merací bod M35_E. Napätie M35_E musí byť 0 V.
- Prepój signál K1 – 2 so signálom K1 – 4
- Pripoj multimeter na merací bod M35_E. Napätie M35_E musí byť 0 V.
- Pripoj rezistor 2k medzi signály K1 – 2 so signálom K1 – 4
- Pripoj multimeter na merací bod M35_E. Napätie M35_E musí byť 5 V.
- Odpoj rezistor
- Odpoj napätie z U15 – 22

1.5.6 Kontrola funkcie bloku TC-0003

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 23.
- Pripoj multimeter na merací bod M35_F. Napätie M35_F musí byť 0 V.
- Prepój signál K1 – 2 so signálom K1 – 4
- Pripoj multimeter na merací bod M35_F. Napätie M35_F musí byť 0 V.
- Pripoj rezistor 2k medzi signály K1 – 2 so signálom K1 – 4
- Pripoj multimeter na merací bod M35_F. Napätie M35_F musí byť 5 V.
- Odpoj rezistor
- Odpoj napätie z U15 – 23

1.5.7 Kontrola funkcie bloku TC-0004

- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 23.
- Pripoj multimeter na merací bod M35_G. Napätie M35_G musí byť 0 V.
- Prepój signál K1 – 2 so signálom K1 – 4
- Pripoj multimeter na merací bod M35_G. Napätie M35_G musí byť 0 V.
- Pripoj rezistor 2k medzi signály K1 – 2 so signálom K1 – 4

- Pripoj multimeter na merací bod M35_G. Napätie M35_G musí byť 5 V.
- Odpoj rezistor
- Odpoj napätie z U15 – 23

1.6 Kontrola blokov CAN TEST

- Pripoj rezistor 5R medzi signály K1 – 19 so signálom K2 – 37.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 21.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 27.
- Pripoj multimeter na pin U16 – 3. Napätie U16 - 3 musí byť 4,8 – 5,2 V.
- Odpoj rezistor
- Pripoj rezistor 5R medzi signály K1 – 37 so signálom K2 – 36.
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 20.
- Pripoj multimeter na pin U16 – 3. Napätie U16 - 3 musí byť 4,8 – 5,2 V.
- Odpoj rezistor
- Odpoj napätie z U15 a U16

1.7 Kontrola + kalibrácia merania prúdu U4

- Prepoj piny K7 – 2 a K7 – 3
- Pripoj prúdový zdroj medzi piny K4 – 2 a K4 - 3 spolu s ampérmetrom
- Nastav zdroj prúdu na hodnoty 0,01 – 0,1 A s krokom 0,01 A.
- Pripoj multimeter na merací bod M16
- Zmeraj hodnoty napätia

I zdroj [A]	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
I mer [A]	0,009545	0,019289	0,029554	0,039288	0,049566	0,059345	0,069589	0,079347	0,089698	0,099355
U mer [V]	0,0955	0,0976	0,1004	0,1028	0,1054	0,1077	0,1103	0,1126	0,1153	0,1176

- Vypočítaj kalibračné hodnoty GAIN a OFFSET pre lineárnu závislosť
- Nastav zdroj prúdu na hodnoty 0,1 – 3 A s krokom 0,1 A.
- Pripoj multimeter na merací bod M16.
- Zmeraj hodnoty napätia
- Vypočítaj kalibračné hodnoty GAIN a OFFSET pre lineárnu závislosť

1.8 Overenie funkcie PT-100

- Pripoj ohmmeter medzi piny K1-25 a K1-26
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U15 – 32.
- Odpor musí byť na hodnote 77 – 79 Ω
- Napätie z meracieho bodu 5V-PWR pripoj na pin U16 – 20.

- Odpor musí byť na hodnote 145 – 147 Ω
- Odpoj napätie z U15 a U16

L Zápís z oživenia

Názov testu:			Nameraná hodnota		
			Jednotka	Hodnota	Limit
1.1 Základná kontrola					
Optická kontrola			-	OK	OK/NOK
Skrat	K10-2	GND	-	OK	OK/NOK
Skrat	+12V-PWR	GND	-	OK	OK/NOK
Skrat	+12V-BINT	GND	-	OK	OK/NOK
Skrat	+5V-PWR	GND	-	OK	OK/NOK
Skrat	+5V	GND	-	OK	OK/NOK
Skrat	+5V-REF	GND	-	OK	OK/NOK
Skrat	+1V-REF	GND	-	OK	OK/NOK
Skrat	K5-2	K5-1	-	OK	OK/NOK
Skrat	K4-4,3	K4-2,1	-	OK	OK/NOK
Skrat	M18, Vin	PGND	-	OK	OK/NOK
1.2 Kontrola napájacích zdrojov					
Prúd zdroja			mA	27,0000	20 ÷ 35
Výstupní napětí	+12V-PWR	GND	V	12,1200	11,8 ÷ 12,2
Výstupní napětí	+12V-BINT	GND	V	12,1600	11,8 ÷ 12,2
Výstupní napětí	+5V-PWR	GND	V	4,9980	4,9 ÷ 5,1
Výstupní napětí	+5V	GND	V	4,9990	4,9 ÷ 5,1
Výstupní napětí	+5V-REF	GND	V	4,9990	4,95 ÷ 5,05
Výstupní napětí	+1V-REF	GND	V	1,0200	0,95 ÷ 1,05
Výstupní napětí	M20	BATGND	V	4,9990	4,95 ÷ 5,05
Výstupní napětí	M22	BATGND	mV	3,1m	3,1m
Výstupní napětí	M23	BATGND	mV	28,2000	28,2
1.3 Kontrola digitálnych signálov					
Digitálny vstup	U15	C0	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	C1	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	C2	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	C3	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	C4	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	C5	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	C6	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	C7	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	A0	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	A1	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	A2	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	A3	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	A4	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	A5	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	A6	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	A7	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	B0	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	B1	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	B2	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	B3	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	B4	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	B5	-	OK	OK/NOK

Digitálny vstup	U15	B6	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U15	B7	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U16	DIO0	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U16	DIO1	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U16	DIO2	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U16	DIO3	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U16	DIO4	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U16	DIO5	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U16	DIO6	-	OK	OK/NOK
Digitálny vstup	U16	DIO7	-	OK	OK/NOK
1.4 Kontrola blokov Open-short detection MOSFET					
Funkcia bloku	TC-0006		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0012		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0007		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0008		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0015		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0011		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0005		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0014		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0013		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0009		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0010		-	OK	OK/NOK
1.5 Kontrola blokov Open-Short detection					
Funkcia bloku	BEMC_TC-0001		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	BEMC_TC-0002		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	BEMC_TC-0003		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0001		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0002		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0003		-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	TC-0004		-	OK	OK/NOK
1.6 Kontrola blokou CAN TEST					
Funkcia bloku	K7_1	P9	-	OK	OK/NOK
Funkcia bloku	K7_3	P8	-	OK	OK/NOK
1.7 Kontrola + kalibrácia merania prúdu U4					
GAIN pre prúd	0,01	1,2	-	4,081	GAIN
OFFSET pre prúd	0,01	1,2	-	-0,3807	OFFSET
1.8 Overenie funkcie PT-100					
Hodnota odporu			Ω	78,7	77 ÷ 79
Hodnota odporu			Ω	146,7	145 ÷ 147