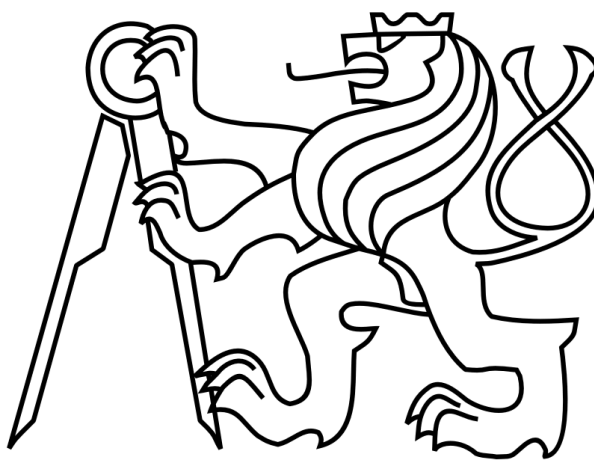


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

katedra mikroelektroniky



Diplomová práce

Výrobní a funkční specifický test univerzální zkušební platformy pro napájení mikrokontroléru

Autor: Bc. Filip Čermák

Obor : Elektronika

Vedoucí práce: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultantů a používal jsem pouze literaturu uvedenou na konci práce. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 24. 5. 2018

.....

Podpis diplomanta

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čermák** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **406082**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**
Studijní obor: **Elektronika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Univerzální testovací platforma pro napájení mikrokontroléru SPC58/57

Název diplomové práce anglicky:

SPC58/57 Microcontroller Power Supply Universal Testing Platform

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rozbor stávajícího stavu řešení univerzálních testovacích platform pro napájení mikrokontroléru, v přehledu technologií se zaměřte na výhody a nevýhody, pro další řešení vyberte vhodnou architekturu pro realizaci s mikrokontrolérem řady SPC57/58.
2. Navrhněte univerzální testovací platformu pro napájení mikrokontroléru s využitím v automobilovém průmyslu. Pro návrh uvažujte mikrokontrolér řady SPC57/58 s L9001 jako SMPS jednoduchým napájecím zdrojem. Aplikace musí podporovat komunikační a řídicí rozhraní. Před vlastním návrhem definujte požadavky na aplikaci, vezměte v úvahu možné aplikační scénáře a testované závady. Při návrhu respektujte příslušné normy pro specifikaci zkoušek pro automobilový průmysl (ISO16750, LV124, IEC61967).
3. Na základě návrhu dle možností realizujte HW řešení.
4. Proveďte úvahu o vhodnosti Vašeho návrhu z hlediska komerčního využití, proveďte jednoduchý ekonomický rozbor s úvahou pro výrobu navrženého systému.

Seznam doporučené literatury:

1. Neumann, P., Uhlíř, J.: Elektronické obvody a funkční bloky (I, II), ČVUT 2001
2. ST L9001 Reference manual, ST SPC58NN84R7 Reference manual
3. Katalogové listy STMicroelectronics, www.st.com

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc., katedra mikroelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **12.02.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem plošného spoje pro napájecí zdroj L9001, takovým způsobem, aby plošný spoj byl kompatibilní s mikrokontroléry SPC57/58 od firmy STMicroelectronics. Deska má sloužit k testování vlastností obvodu L9001, proudovou spotřebu jednotlivých módů a kompatibilitu komunikace s externími periferiemi. Práce obsahuje postup návrhu a následnou realizaci obvodu.

Klíčová slova: mikrokontrolér, napájecí zdroj, L9001, kompatibilita

Abstract

This diploma thesis deals with the design of the PCB for the L9001 power supply in such a way that the PCB is compatible with STMicroelectronics SPC57/58 microcontrollers. The board is designed to test properties of the L9001 circuit, the current consumption of individual modes and the compatibility of communication with external peripherals. The work includes the design process and subsequent implementation of the circuit.

Key words: microcontroller, power supply, L9001, compatible





Poděkování

Děkuji vedoucímu práce, prof. Ing. Miroslavu Husákovi, CSc., za vedení diplomové práce a konzultantovi Ing. Leošovi Longauerovi za pomoc s návrhem plošného spoje.





OBSAH

SEZNAM TABULEK	14
SEZNAM OBRÁZKŮ	14
SEZNAM ZKRATEK	15
SEZNAM SYMBOLŮ	16
ÚVOD.....	17
1. NAPĚŤOVÉ MĚNIČE	18
1.1. LINEÁRNÍ REGULÁTOR	18
1.2. SNIŽUJÍCÍ MĚNIČ BUCK	19
1.3. NÁBOJOVÁ PUMPA	21
1.4. DEKODÉR	22
1.5. ANALOGOVĚ DIGITÁLNÍ PŘEVODNÍK.....	23
1.6. SPI.....	24
1.7. UART.....	26
1.8. CAN.....	28
2. NAPÁJECÍ ZDROJ L9001	29
2.1.1. VDD1 REGULÁTOR	29
2.1.2. VDD2 REGULÁTOR	29
2.1.3. ADC LDO REGULÁTOR.....	30
2.1.4. KONTROLA A DIAGNOSTIKA	30
2.1.5. NAPĚŤOVÉ MÓDY L9001	30
3. ROZBOR PŮVODNÍHO ŘEŠENÍ.....	32
4. POSTUP NÁVRHU	33
4.1. BLOKOVÉ SCHÉMA DESKY.....	33
4.2. BLOKOVÉ SCHÉMA OBVODU L9001	35
4.3. NÁVRH OBVODOVÉHO ZAPOJENÍ.....	36
4.3.1. SCHÉMA TOP.....	37
4.3.2. SCHÉMA ZAPOJENÍ L9001	37
4.3.3. KOMUNIKAČNÍ PERIFERIE.....	43
5. NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE	47
6. KOMERČNÍ VYUŽITÍ OBVODU L9001	48
ZÁVĚR.....	49
LITERATURA	50
PŘÍLOHY.....	52

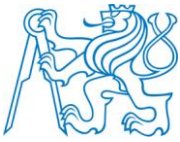


SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Konfigurace obvodu L9001	52
Tabulka 2 Konfigurace obvodu L9001	53
Tabulka 3 Seznam součástek	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma lineární regulátor (převzato z [15]).	18
Obrázek 2: Schéma asynchronního Buck regulátoru (převzato z [7]). ...	19
Obrázek 3: Průběh napětí a proudu v čase (převzato z [7]).	20
Obrázek 4: Schéma asynchronního Buck regulátoru (převzato z [7]). ...	21
Obrázek 5: Schéma nábojové pumpy (převzato z [16]).	21
Obrázek 6: Schéma zapojení a pravdivostní tabulka dvou vstupového dekodéru (převzato z [2]).	22
Obrázek 7: Schéma ADC převodníku (převzato z [17]).	23
Obrázek 8: Princip komunikace SPI a (převzato z [3]).	25
Obrázek 9: Princip komunikace SPI b (převzato z [3]).	25
Obrázek 10: UART sběrnice (převzato z [5]).	27
Obrázek 11: Rozdíl paketu a rámce (převzato z [6]).	27
Obrázek 12: Topologie Can sběrnice (převzato z [18]).	28
Obrázek 13: Původní řešení desky.	32
Obrázek 14: Základní blokové schéma měřícího obvodu.	33
Obrázek 15: Blokové schéma se Samtec konektorem.	34
Obrázek 16: Výsledné blokové schéma obvodu	35
Obrázek 17: Blokové schéma L9001	36
Obrázek 18: Vstupní části obvodu L9001.	38
Obrázek 19: Konfigurační piny regulátorů obvodu L9001.	38
Obrázek 20: Výstupní části obvodu L9001.	39
Obrázek 21: Kontrola vstupního napětí.	42
Obrázek 22: Piny Arduino patice.	43
Obrázek 23: Piny komunikační patice.	44
Obrázek 24: Schéma zapojení čtyřpinového přepínače.	45
Obrázek 25: Regulace referenčního napětí ADC.	45
Obrázek 26: Schéma zapojení externího CAN obvodu.	46
Obrázek 27: detail na Can konektor a Arduino patice	57
Obrázek 28: Arduino deska pro ovládání módů	57
Obrázek 29: Schéma zapojení obvodu L9001	58
Obrázek 30: Komunikační a ovládací prvky desky	59
Obrázek 31: Schéma propojení jednotlivých schémat	60
Obrázek 32: Detail na layout L9001 a vymezení spodní části pro chlazení	61
Obrázek 33: Horní strana desky.....	62



Obrázek 34	Pohled pod úhlem	63
Obrázek 35	Spodní strana desky	64
Obrázek 36	Layout horní vrstvy	65
Obrázek 37	Layout vrstvy 2	66
Obrázek 38	Layout vrstvy 3	67
Obrázek 39	Layout vrstvy 4	68
Obrázek 40	Layout vrstvy 5	69
Obrázek 41	Layout spodní vrstvy	70

SEZNAM ZKRATEK

ADC	analogově-digitální převodník
ADC MON	Reset výstup VADC
A/D	analogově-digitální převodník
CAN	CANON konektor
CAN L	CAN Low signál
CAN H	CAN High signál
CONF	konfigurační pin
CPHA	fáze hodin
CPOL	polarita hodin
CS	chip select
CP	charge pump – nábojová pumpa
FB	feedback – zpětná vazba
GND	elektrická zem
HW	hardware
I/O	vstupně – výstupní pin
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci
LDO	lineární regulátor napětí
MISO	Master In Slave Out - komunikace do nadřízeného obvodu
MOSI	Master Out Slave In - komunikace do podřízeného obvodu
RESN	resetovací signál
RSTN1	reset výstupu 1
RSTN2	reset výstupu 1
Rx	reciever
SCK	clock SPI
SPC	deska mikrokontroléru STMicroelectronics
SS	slave select



STBY	standby signál
STBY HW	standby ruční nastavení
Tx	tranciever
TWN	teplotní signál
UART	sériová komunikace
VADC (V)	výstupní napětí výstupu ADC
VBAT	napájecí napět
VDD1	výstupní napětí výstupu 1
VDD2	výstupní napětí výstupu 2
VR1	zpětná vazba 1
VR2	zpětná vazba 2
WD	watchdog
WDI	watchdog input signál
WDO	watchdog output signál
WDT	watchdog signál
WK	wake

SEZNAM SYMBOLŮ

I	(A)	proud
I_{S1}		proud spínačem 1
I_{S2}		proud spínačem 2
J		kolík
JP		spojka
R_1		odpor
R_2		odpor
R_D		odpor - dioda
R_L		odpor – cívka
TOP		výkres propojující ostatní schemata
U	(V)	napětí
U_1	(V)	napětí
U_2	(V)	napětí
U_{in}	(V)	vstupní napětí
U_{out}	(V)	výstupní napětí
VS	(V)	napájecí napětí



ÚVOD

Každé elektrické zařízení potřebuje spolehlivý napájecí zdroj. Pro elektronická zařízení v automobilovém průmyslu to platí dvojnásob, protože podléhají mnoha standardům. Jedny z těchto standardů jsou ISO 16750 a ISO 16845. Je patrné, že každý napájecí zdroj se musí nejdříve důkladně testovat, než se začne masově vyrábět a osazovat do automobilů, jako jsou například Audi a BMW.

Společnost STMicroelectronics byl zadán požadavek na otestování jednoho z jejich napájecích zdrojů s názvem L9001. Cílem této práce je navrhnout a realizovat testovací zařízení pro obvod L9001, které zároveň bude kompatibilní s mikroprocesory SPC57/58, které tato společnost využívá.

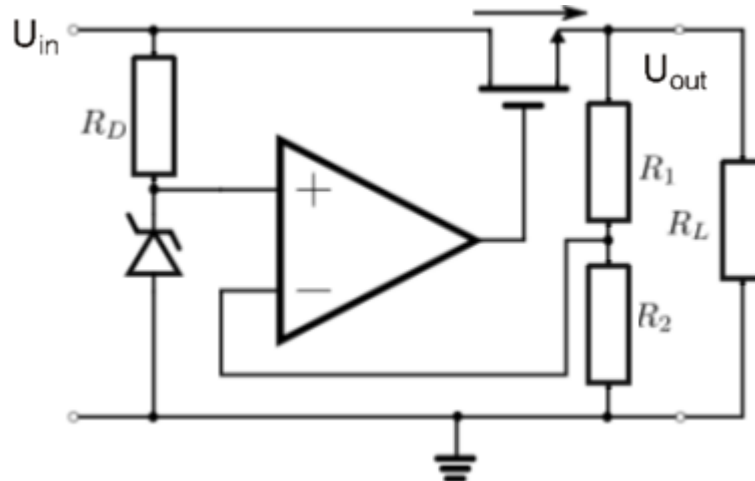
První část diplomové práce shrnuje problematiku a nutnou teoretickou znalost pro sestavení takového zařízení. Obsahuje princip funkce měničů, princip komunikace použitých sběrnicí a analogově digitální převodníky.

Část druhá obsahuje rozbor problematiky, popis obvodu L9001 a konkrétní řešení desky. Do konkrétního řešení patří jednotlivá schémata, jejich popis a následná tvorba plošného spoje.



1. NAPĚŤOVÉ MĚNIČE

1.1. LINEÁRNÍ REGULÁTOR



Obrázek 1: Schéma lineární regulátor (převzato z [15]).

Lineární regulátor (obrázek 1) se zpětnou vazbou využívá operačního zesilovače zapojeného jako komparátor. Výstupem operačního zesilovače je řízen tranzistor, který je zapojen jako spínač. Na neinvertující vstup operačního zesilovače je přivedeno referenční napětí, tvořeno pomocí odporu a zenerovy diody v závěrném směru. Invertující vstup je připojen k děliči napětí, který na výstupu tvoří dva sériově zapojené odpory. [1][7][8][15]

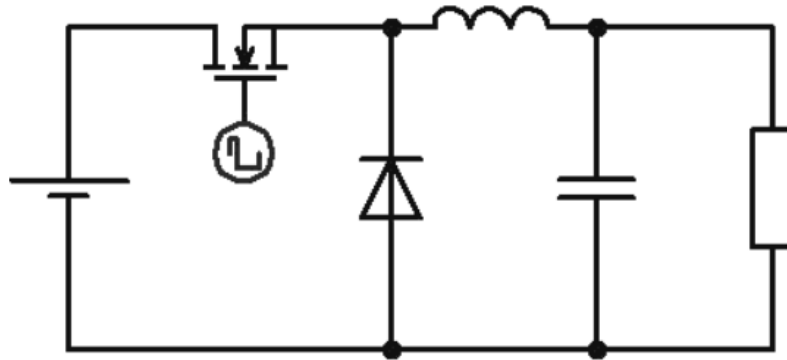
Funkce lineárního regulátoru spočívá v porovnávání referenčního napětí s napětím na výstupním děliči. Výstupní napětí tedy může být vyšší než napětí referenční, zaleží na zvoleném poměru odporů R_1 a R_2 . Při přivedení napětí na vstup obvodu se nastaví referenční napětí na zenerově diodě. V té chvíli je na neinvertujícím vstupu operačního zesilovače vyšší napětí než na invertujícím, což znamená, že na výstupu operačního zesilovače je kladné napětí, a tak je tranzistor otevřen. Proud prochází obvodem na výstup a na zpětnovazebním odporu R_2 vzniká úbytek napětí. Operační zesilovač toto napětí porovnává s referenčním napětím, a dokud je referenční napětí vyšší než úbytek na zpětnovazebním odporu, je výstup operačního zesilovače kladný, a tak je tranzistor otevřen. Pokud napětí na odporu R_2 bude vyšší než referenční napětí, tak



se komparátor překlápí a na jeho výstupu bude záporné napětí, které uzavře tranzistor. Jakmile se tranzistor uzavře, přestane protékat proud na výstup a na odpor R2 opět poklesne napětí, čímž se operační zesilovač opět překlápí a na jeho výstupu se objeví kladné napětí, které otevře tranzistor.

Je tedy vidět, že tento obvod stabilizuje napětí na námi stanovené hodnotě pomocí napěťového děliče, tvořeného odpory R1 a R2. [1][7][15]

1.2. SNIŽUJÍCÍ MĚNIČ BUCK



Obrázek 2: Schéma asynchronního Buck regulátoru (převzato z [7]).

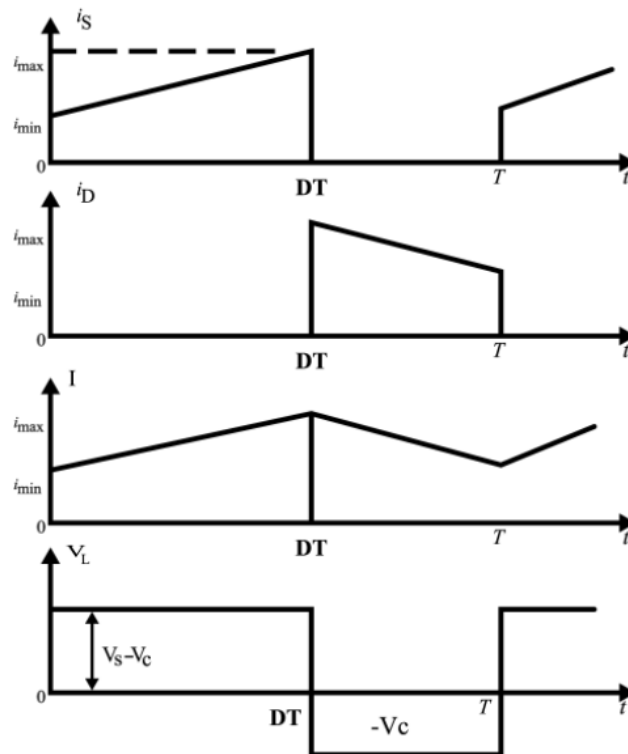
Snižující měnič Buck (obrázek 2) využívá vlastnosti cívky. Cívka se snaží zachovat protékající proud i po odpojení napájení. Při sepnutí tranzistoru začne cívku procházet proud směrem do zátěže. Po rozepnutí tranzistoru, ale nedochází ke skokové změně proudu, protože cívka nadále tlačí proud do zátěže. Obvod by se tedy dal rozdělit na dva stavy. Prvním stavem je obvod se sepnutým tranzistorem a druhým obvod s rozpojeným tranzistorem. [1][7][8]

V případě sepnutého tranzistoru zdroj tlačí proud skrz cívku, která se změně brání a proud roste na cívce lineárně, až do bodu, kdy dojde k ustálení přechodového jevu, nebo v našem případě až dojde k rozepnutí tranzistoru.[7][9]

Po rozepnutí tranzistoru dojde k odpojení napájení a proud cívku lineárně klesá. V tuto chvíli se cívka chová jako zdroj. Celý obvod se uzavírá přes odpor, diodu a zpět do cívky. [7][8]

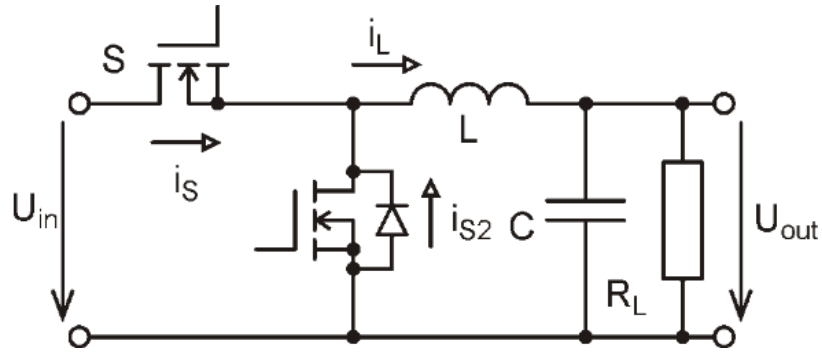


Je tedy vidět, že obvodem nemůže nikdy protékat vyšší proud než v ustáleném stavu se sepnutým tranzistorem, proto také název snižující měnič. Proud protékající cívkou, a tím i výstupní napětí, je možno regulovat pomocí dob tranzistoru v sepnutém a rozepnutém stavu tzv. pulsní šířkovou modulací, kdy její střídou regulujeme výstupní napětí. Průběhy proudů a napětí znázorňuje obrázek 3. [1][7][9]



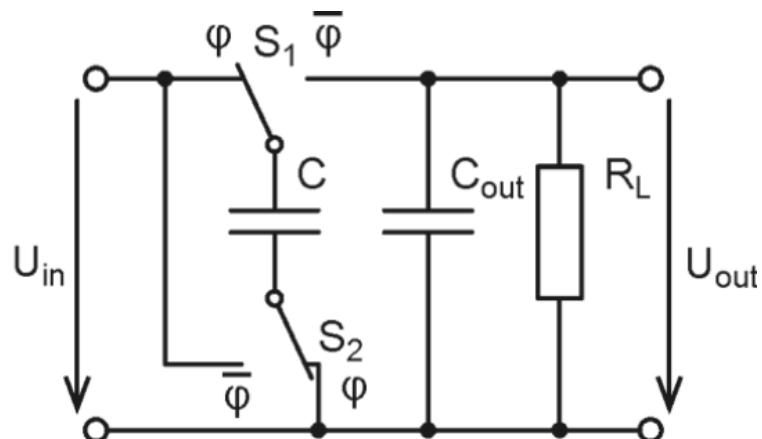
Obrázek 3: Průběh napětí a proudu v čase (převzato z [7]).

Pro zlepšení účinnosti zapojení je možné využít synchronní Buck (obrázek 4), kdy diodu nahradíme tranzistorem MOSFET. Při sepnutí se sníží úbytek napětí na diodě. Ovšem v sepnutém stavu pracuje kanál MOSFET tranzistoru obousměrně. Řídicí signál musí spínat oba tranzistory proti sobě. Toto zapojení se využívá pro měniče na nízká napětí, kdy je úbytek na diodě nezanedbatelný. [7]



Obrázek 4: Schéma asynchronního Buck regulátoru (převzato z [7]).

1.3. NÁBOJOVÁ PUMPA



Obrázek 5: Schéma nábojové pumpy (převzato z [16]).

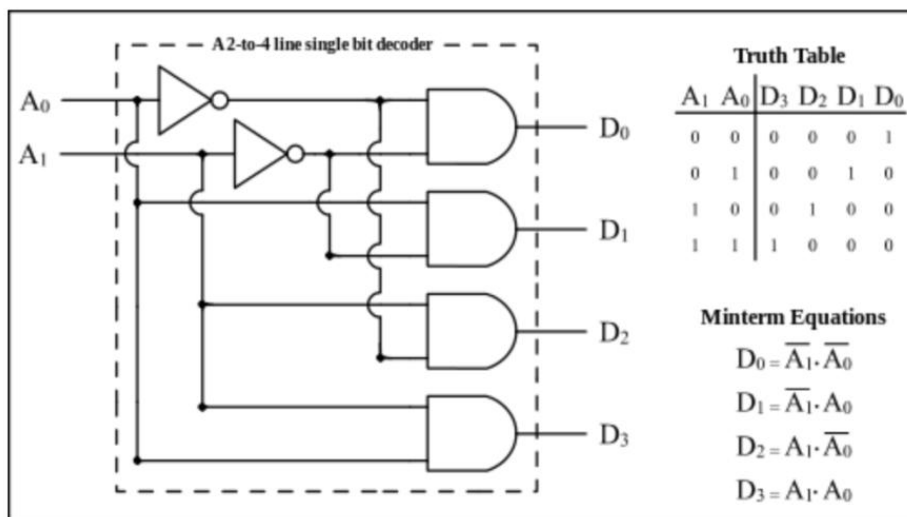
Funkci nábojové pumpy (obrázek 5) můžeme rozdělit na dvě fáze. Fáze první je nabíjení kondenzátoru C na hodnotu napájecího napětí. Poté se přepne do fáze druhé. K tomu dojde tak, že se vstupní napětí připojí na druhou nožičku kondenzátoru. Po tomto přepnutí se výsledné napětí bude rovnat napětí vstupnímu v součtu s napětím na kondenzátoru. [16]



1.4. DEKODÉR

Dekodér je kombinační obvod, který reaguje na vstupní signály bez ohledu na jeho předchozí stav. Neobsahuje paměť a nemá zpětnou vazbu, na rozdíl od sekvenčních obvodů. Pro realizaci kombinačního obvodu se obvykle používají hradla NAND. S těmito hradly je možno sestavit jakýkoli kombinační obvod, a zároveň jsou nejjednodušší na konstrukci.

Dekodér se využívá pro dekódování určité zprávy. Nejčastěji se používají dekodéry binární. Tyto dekodéry dekódují signál z n do 2^n . Princip funkce je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 6: Schéma zapojení a pravdivostní tabulka dvouvstupového dekodéru (převzato z [2]).

Na obrázku 6 je dekodér ze dvou do čtyř, kdy na vstup dekodéru jsou přivedeny 2 signály. Jejich kombinace jsou zachyceny v pravdivostní tabulce. Kombinační logika v dekodéru je nastavena tak, že pro jakoukoli kombinaci na vstupu je pouze jeden výstupní vodič v logické jedničce. [2]

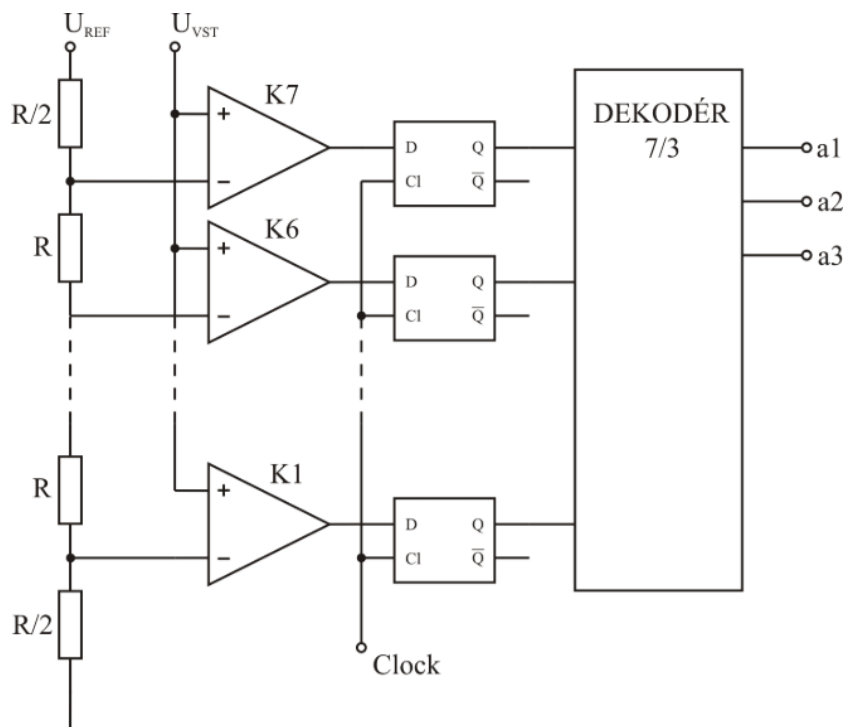


1.5. ANALOGOVĚ DIGITÁLNÍ PŘEVODNÍK

Analogově-digitální převodník neboli ADC, je elektrické zařízení, které převádí spojitý, analogový signál na diskrétní, digitální signál. Tohoto převodu se využívá pro zjednodušení následného zpracování a přenosu po sběrnících.

Tento převod se skládá ze dvou částí. První částí je vzorkování v časové oblasti. Je důležité, aby vzorkovací frekvence byla správně nastavena. Čím vyšší frekvence bude, tím lépe bude signál převeden. Bohužel výpočetní zařízení nemá nekonečnou paměť a ani nemůže fungovat na nekonečné frekvenci. Frekvence obvykle bývá o něco vyšší, než je polovina nejvyšší vzorkované frekvence v signálu. V případě, že se v signálu vyskytují vyšší harmonické frekvence, které z hlediska signálu nejsou podstatné, můžeme předejít aliasingu pomocí filtru dolní propusti, aniž by musela být zvýšena vzorkovací frekvence.

Druhou částí je kvantování, které probíhá porovnáváním jednotlivých napěťových úrovní. Pro správné převedení signálu je důležité, aby referenční napětí na komparátorech bylo co nejpřesnější.



Obrázek 7: Schéma ADC převodníku (převzato z [17]).



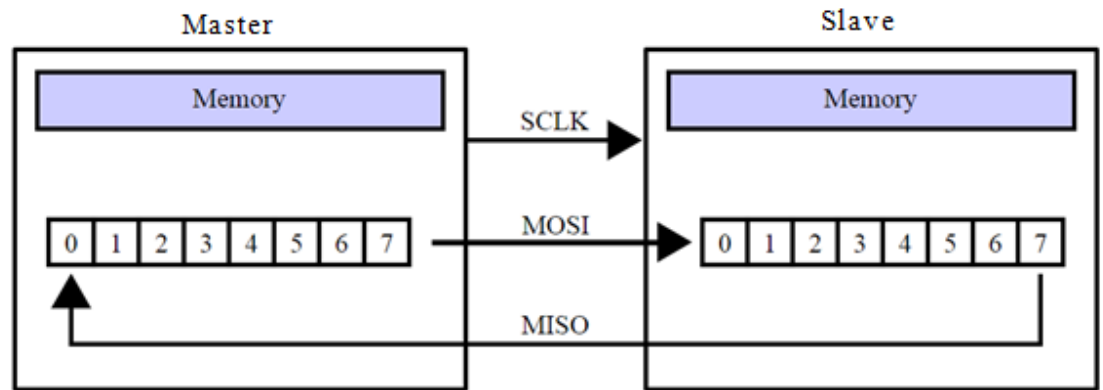
Paralelní A/D převodník (obrázek 7) je nejrychlejším typem převodníku, protože celý převod probíhá v jednom kroku paralelně na jednotlivých komparátorech. Tyto komparátory porovnávají napětí na vstupu s referenčním napětím. Nevýhodou tohoto typu převodníku je, že pro každý bit je potřeba jeden komparátor. [17]

KOMUNIKACE

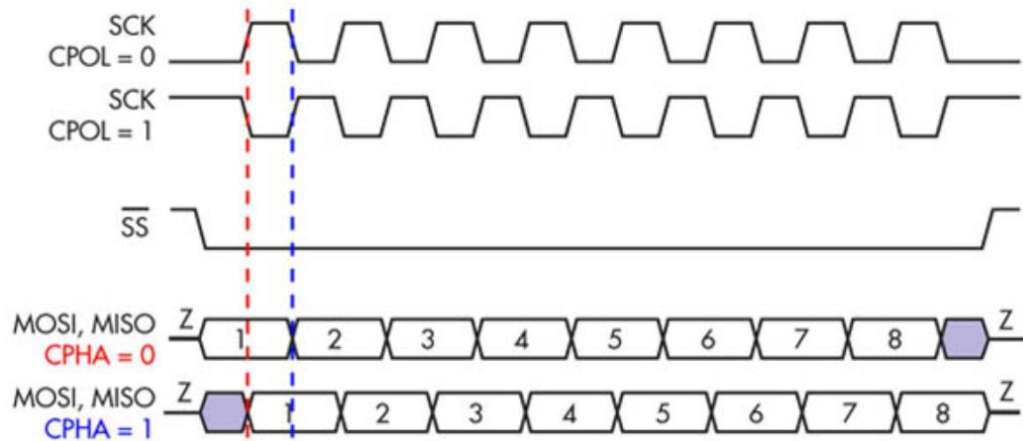
1.6. SPI

SPI – seriál peripheral interface je rozhraní pro sériovou komunikaci mezi jednotlivými zařízeními. Skládá se z jednoho řídicího obvodu (Master) a z jednoho, či více podřízených obvodů (slave). Master určuje hodinový signál a pomocí chip selectu nebo slave selectu určuje, se kterým ze slave zařízení chce komunikovat. [3][4]

Průběh komunikace je následovný. Master vybere slave zařízení, se kterým bude komunikovat a nastaví mu slave select do logické 0. Ostatní zařízení jsou v logické jedničce (stav vysoké impedance). Ve chvíli, kdy je slave zařízení vybráno, začíná se generovat hodinový signál SCK. Během generování SCK mohou obě zařízení komunikovat. Pro komunikaci jsou vyhrazeny dva vodiče. Prvním vodičem je vodič MOSI. Po tomto vodiči vysílá Master data ke slaveu (Master out slave in). Druhým vodičem je vodič MISO. Po tomto vodiči vysílá slave data k Masterovi (Master in slave out) (viz. obrázek 8). Pro komunikaci jsou tedy potřeba celkem čtyři vodiče. MOSI, MISO a SCK jsou společné vodiče pro všechny připojené slavey a čtvrtý vodič SS/CS, který je pro každý slave unikátní, představuje jeho adresu. [3][4]



Obrázek 8: Princip komunikace SPI a (převzato z [3]).



Obrázek 9: Princip komunikace SPI b (převzato z [3]).

Obrázek 9 vysvětluje princip konfiguračních bitů CPOL a CPHA. Jedná se o vztah mezi hodinovým signálem a těmito bity. Kombinací těchto dvou bitů dostáváme čtyři módy komunikace:

MÓD 0: klidová úroveň hodinového signálu je 0 (CPOL = 0) a hodnota je čtena při změně z klidové do aktivní úrovně (CPHA 0).

MÓD 1: klidová úroveň hodinového signálu je 0 (CPOL = 0) a hodnota je čtena při změně z aktivní do klidové úrovně (CPHA 1).

MÓD 2: klidová úroveň hodinového signálu je 1 (CPOL = 1) a hodnota je čtena při změně z klidové do aktivní úrovně (CPHA 0).

MÓD 3: klidová úroveň hodinového signálu je 1 (CPOL = 1) a hodnota je čtena při změně z aktivní do klidové úrovně (CPHA 1). [3][4]



1.7. UART

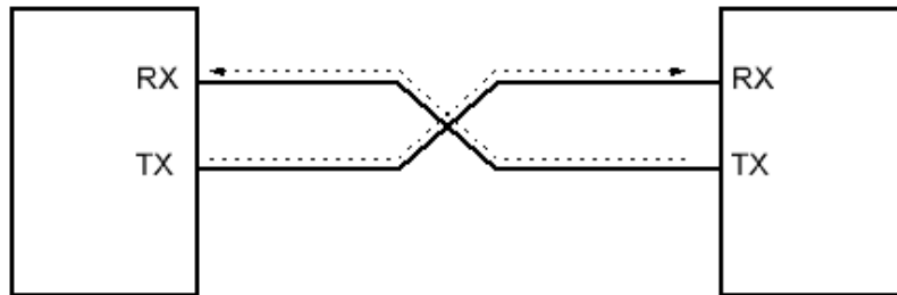
Universal asynchronous receiver/transmitter tedy v překladu univerzální asynchronní přijímač/vysílač. Jak již název napovídá, není zde žádný synchronizační vodič. Frekvence přenosu je dána cykly mikroprocesoru. Pro správnou komunikaci mezi dvěma zařízeními je tedy nutné, aby obě zařízení měla stejnou délku cyklu neboli, aby pracovala na stejném baud rateu. [5]

Komunikace probíhá po dvou nezávislých vodičích Rx (Receiver) a Tx (Transmitter) a může být rozdělena na 3 varianty:

- : Simplex - pouze jednosměrné vysílání.
- : Half Duplex - vysílání i přijímání, ale ne ve stejný čas.
- : Full Duplex – vysílání i přijímání ve stejný čas.

Je patrné, že např. z pohledu vysílače je Tx vodič stejný, jako Rx vodič příjemce. Z toho plyne, že po každé ze dvou linek se data přenáší pouze jedním směrem (viz obrázek 10). V případě nečinnosti sběrnice se nastaví napětí na hodnotu logické jedničky. Tímto způsobem je zajištěno, že přijímač ví, že na druhé straně je zapojený vysílač.

Komunikace vždy začíná start bitem, který shodí sběrnici do 0, tímto přijímač zjistí, že začíná komunikace. Po tomto start bitu následuje pět až devět datových bitů, po nichž následuje parita. Parita se používá pouze, pokud rámeček nevyužívá všech devíti bitů a v podmínkách, kdy je zvýšené rušení v komunikaci. Je to užitečný nástroj, jak odhalit chybu přijatého rámce. Parita kontroluje, jestli je počet jedniček v rámci sudý nebo lichý. Toho se dá dosáhnout pomocí hradla XOR aplikovaného na jednotlivé datové bity rámce. V případě, že parita nekoresponduje s vyslanými daty, tak se rámeček vysílá znovu. Parita totiž nedokáže odhalit, který z bitů je chybný. Dokáže pouze říct, že v jednom z bitů je chyba. Dále by mohl nastat problém s paritou ve chvíli, kdy by byly dva bity chybné. Parita by se totiž nezměnila ze sudé na lichou, či naopak. Tato varianta je ale velmi nepravděpodobná. Na konci komunikace je vždy stop bit, který může být jeden stop bit, nebo dva stop bity jdoucí za sebou. Stop bit je vždy v logické 1. Start a stop bit jsou tedy synchronizačními bity, které udávají, kde rámeček začíná a kde končí.



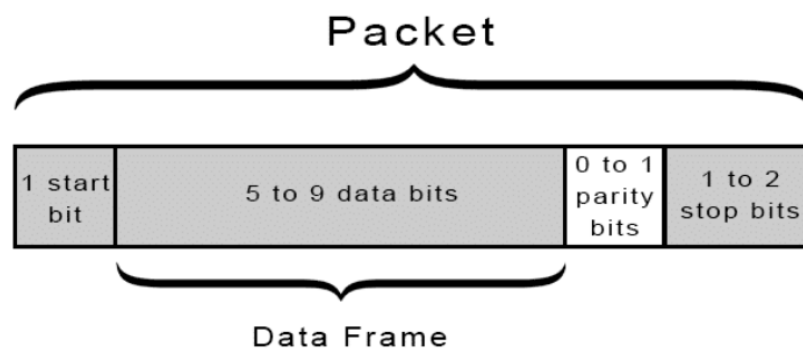
Obrázek 10: UART sběrnice (převzato z [5]).

Rozdíl mezi datovým rámcem a paketem je patrný z následujícího obrázku.

Rámcem (frame) je myšlena užitečná část signálu, tedy taková data, která se mají přenášet a dále zpracovávat v cílovém zařízení.

Paket (packet) je celý soubor bitů obsahující jak data užitečná, tak data redundantní. Tato redundantní data jsou ovšem pro přenos nezbytná, jelikož nám synchronizují signál, nebo kontrolují správnost dat.

Rychlost UART sběrnice se obvykle měří v jednotkách Baud. Tu udává počet přenesených symbolů za sekundu. Pro zjištění rychlosti přenosu v jednotkách bps, je tedy zapotřebí počítat pouze s přenesenými daty v rámci, nikoli v celém paketu (viz obrázek 11).

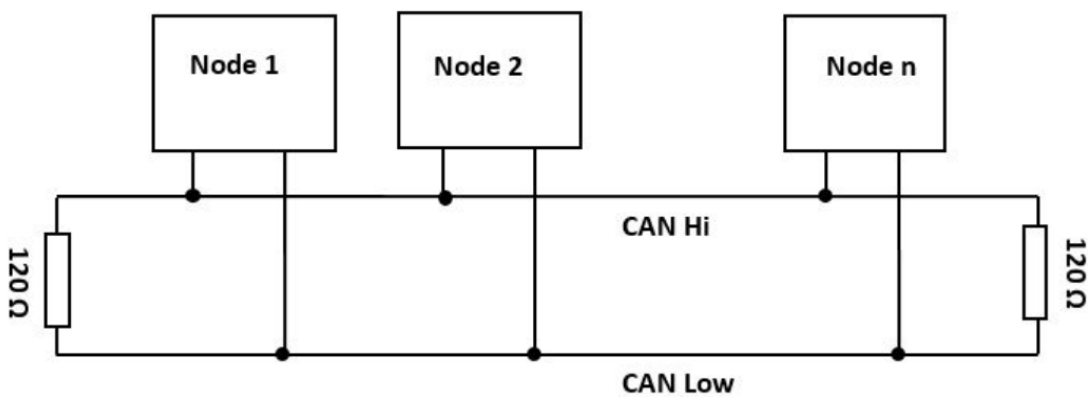


Obrázek 11: Rozdíl paketu a rámce (převzato z [6]).

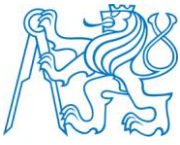


1.8. CAN

Controller Area Network je multimaster sběrnice hojně využívaná v automobilovém průmyslu a automatizaci. Jedná se o sériovou datovou sběrnici, jejíž parametry podléhají normě ISO 11898. Maximální přenosová rychlost je 1 Mb/s. U CAN sběrnice je možné komunikovat mezi dvěma a více zařízeními. Zařízením se říká NODES, tedy v překladu uzly. Node může být jednoduché I/O zařízení, nebo také komplexní deska se sofistikovaným softwarem, která obsahuje CAN rozhraní. Všechna zařízení, která přes CAN komunikují, jsou propojeny přes dva vodiče. Tyto dva vodiče tvoří kroucenou dvojlinku se 120Ω charakteristickou impedancí (viz obrázek 12). [18]



Obrázek 12: Topologie Can sběrnice (převzato z [18]).



2. NAPÁJECÍ ZDROJ L9001

Využití tohoto obvodu plyne ze zadání a pro správné navržení desky bylo zapotřebí důkladně nastudovat materiály k tomuto zařízení.

Integrovaný obvod L9001 obsahuje tři výstupní regulátory VDD1, VDD2 a ADC LDO.

2.1.1. VDD1 REGULÁTOR

VDD1 je asynchronní regulátor s integrovaným FET tranzistorem, může fungovat jako předregulátor pro VDD2, nebo jako napájení pro mikrokontrolér a jiné periferie. Jeho napěťové úrovně mohou být 3,3 V/5,0 V/6,0 V a výstupní proud až 1 A. Napětí na výstupu je monitorováno pinem VR1. Pokud je napětí mimo stanovenou mez, tak se výstup RSTN1 nastaví do logické 0. Jakmile se napětí vrátí do stanovené meze, RSTN1 se po specifikovaném čase opět nastaví do logické 1. [10]

2.1.2. VDD2 REGULÁTOR

VDD2 je konfigurovatelný regulátor s integrovaným FET tranzistorem. Může být využit ve dvou módech, jako Buck, nebo LDO regulátor. Jeho napěťové úrovně jsou od 0,8 V do 5,0 V. Toto napětí se nastavuje pomocí vnějšího děliče na vstupním pinu FB2. Výstupní proud je 1 A v Buck módu a 300mA v LDO módu. Výstupní napětí je kontrolováno pomocí vstupního pinu FB2 (obdobně jako u VDD1) a pokud napětí přesáhne specifikovanou mez, tak se RSTN2 nastaví do logické 0. Jakmile se napětí vrátí do stanovené meze, RSTN2 se po specifikovaném čase opět nastaví do logické 1. Existují dva způsoby přivedení napětí na vstup regulátoru VDD2:

- VS napětí - VDD2 se přímo připojí na vstupní baterii. V této variantě se automaticky odpojí VDD1, jelikož není povoleno, aby oba regulátory byly napájeny zároveň z baterie.
- VDD1 regulátor – VDD2 využívá VDD1 jako předregulátor. [10]



2.1.3. ADC LDO REGULÁTOR

ADC LDO je lineární regulátor s integrovaným FET tranzistorem, který je určen pro napájení periferií s nízkou proudovou spotřebou. Výstupní napětí regulátoru může být nastaveno na 3,3 V/5,0 V. Maximální výstupní proud je 100 mA. Obvod obsahuje interní limitaci proudu jako ochranu. Výstupní napětí je monitorováno interně. Pokud napětí přesáhne specifikovanou mez, tak se ADCMON nastaví do logické 0, ale jakmile se napětí vrátí do stanovené meze ADCMON se po specifikovaném čase opět nastaví do logické 1. [10]

2.1.4. KONTROLA A DIAGNOSTIKA

Mimo výše zmíněné proudové ochrany a kontroly výstupního napětí integrovaný obvod poskytuje kontrolu vstupního napětí VS, překročení povolené teploty, watchdog a blokovací režim (latch mode).

Vstupní napětí VS je monitorováno a v případě přepětí, nebo podpětí se obvod přepne do bezpečného režimu (safe state). V tomto režimu je odpojeno výstupní napětí.

Vnitřní teplota je monitorována. V překročení stanovené úrovně se TWN nastaví do logické 0. Pokud by teplota stoupala až na kritickou úroveň, tak obvod přejde do bezpečného režimu. [10]

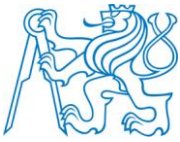
Obvod obsahuje nábojovou pumpu (charge pump), která zajišťuje správnou funkci regulátoru ve specifikovaných mezích. Podpětí na CP spouští safe state.

Watchdog je funkční blok, který neustále kontroluje stav oscilátoru mikrokontroléru. Toho je dosaženo kontrolou synchronizace mezi mikrokontrolérem a vnitřním signálem, který je nastaven pomocí zvolené velikosti kondenzátoru na vstupu WDT. V případě, že signál z mikrokontroléru WDI neodpovídá, tak se WDO nastaví do logické 0 po stanovenou dobu. [10]

2.1.5. NAPĚŤOVÉ MÓDY L9001

OFF MODE

Režim, kdy je odpojené vstupní napětí VS. Pokud vstupní napětí převyšuje 5,5V a Wake je v logické 1, tak se L9001 přepne do aktivního módu. [10]



ACTIVE MODE

Aktivní režim odpovídá běžnému průběhu, kdy jsou všechny funkce dostupné. Wake je v logické 1, vstupní napětí je ve specifikovaném rozsahu. [10]

FLASH MODE

Flash mód je režim, který slouží pro nestandardní zacházení např. pro vývoj softwaru. Flash mód je stejný, jako aktivní mód, jen se změnou vypnutí watchdogu. [10]

LOW POWER MODE

Low power mode je stav, kdy systém snižuje odběr proudu na minimum na úkor některých funkcí. V tomto režimu je vše vypnuto, kromě VDD1 a VDD2, ty pracují v bypass režimu. Do tohoto režimu se obvod přepne přivedením logickou 1 na STBY pin. [10]

SAFE STATE

Do tohoto režimu zařízení přejde automaticky, pokud nastane jeden ze stavů, který je generován v aktivním módu. Tyto chybové stavy mohou být čtyři: [10]

- Přehřátí.
- Podpětí na vstupu.
- Přepětí na vstupu.
- Podpětí na nábojové pumpě.

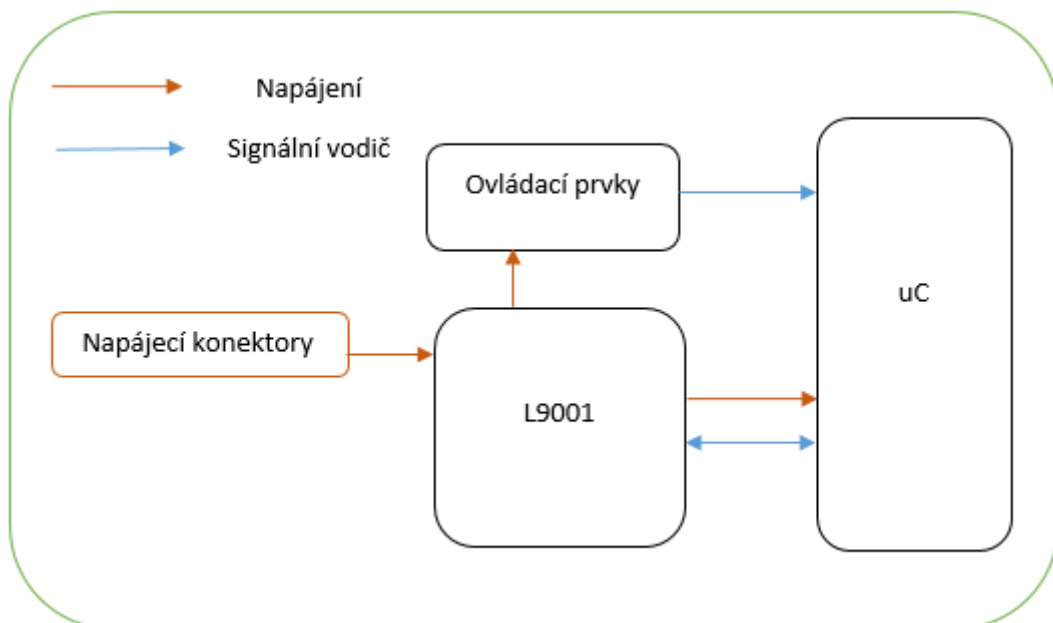
LATCH MODE

Do LATCH módu zařízení automaticky přejde při přetrvávající chybě, která narušuje správnou funkčnost. V tomto případě musí být zařízení restartováno. Jedinou cestou z LATCH módu je tedy přejít do OFF state a pak do ACTIVE módu. Jinak bude obvod v LATCH módu po neurčitou dobu. V LATCH módu jsou všechny výstupy, WD a CP vypnuty.



3. ROZBOR PŮVODNÍHO ŘEŠENÍ

STMicroelectronic již vlastní některé testovací platformy pro obvod L9001, ovšem tyto platformy nejsou univerzální. To znamená, že pro každý mikrokontrolér, pro který je potřeba udělat testování s obvodem L9001 je zapotřebí vyrobit novou desku. Výhodou je, že obvod je pro daný mikrokontrolér optimalizovaný, ovšem při počtu mikrokontrolérů, kterými firma STMicroelectronics disponuje, by bylo velmi zdlouhavé a nákladné vytvářet každou desku zvlášť. Původní schéma zapojení popisuje obrázek 13.



Obrázek 13: Původní řešení desky.



4. POSTUP NÁVRHU

4.1. BLOKOVÉ SCHÉMA DESKY

Základním účelem této práce bylo modifikovat původní řešení desky pro měření obvodu L9001 tak, aby bylo na desce možné měřit s jakýmkoli mikrokontrolérem řady SPC 57/58. V případě vytvoření takové desky by se výrazně zjednodušilo měření obvodu L9001 v kombinaci s mikrokontroléry a také by nebylo potřeba vyrábět unikátní desku pro každý mikrokontrolér zvlášť.

Nejjednodušší variantou, jak tohoto výsledku dosáhnout bylo připojovat mikrokontrolér externě. Nabízela se i varianta mikrokontroléru osazeného přímo na testovací desce pomocí patice. Toto řešení by ovšem bylo použitelné pouze pro mikrokontroléry se stejným počtem pinů. Mikrokontrolery řady SPC 57/58 mají velikosti pouzder 64, 100, 144, 176 a 292 pinů. Nakonec se z tohoto řešení tedy upustilo a byla zvolena varianta dvou desek (viz obrázek 14).

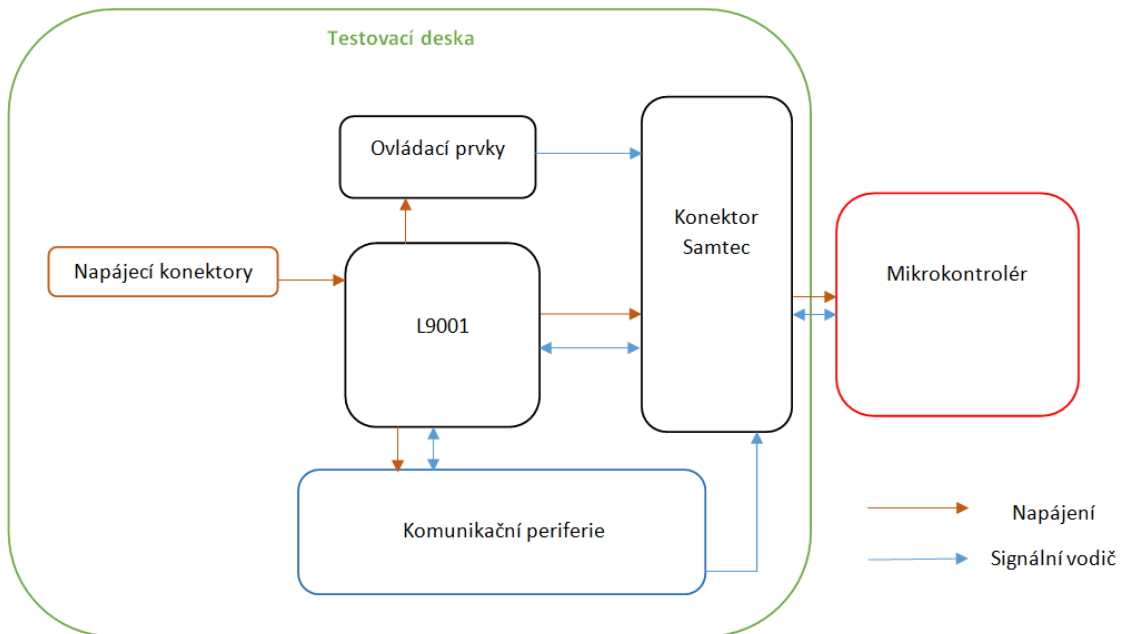


Obrázek 14: Základní blokové schéma měřícího obvodu.

Dalším problémem tedy bylo vymyslet, jak tyto dvě desky propojit. Po úvaze jak toho docílit byl na desku přidán univerzální konektor s 2x240 piny. Důvody použití tohoto konektoru byly dva. Prvním důvodem je dostatečný počet pinů i pro mikrokontroléry s největšími pouzdry. Druhým důvodem byl



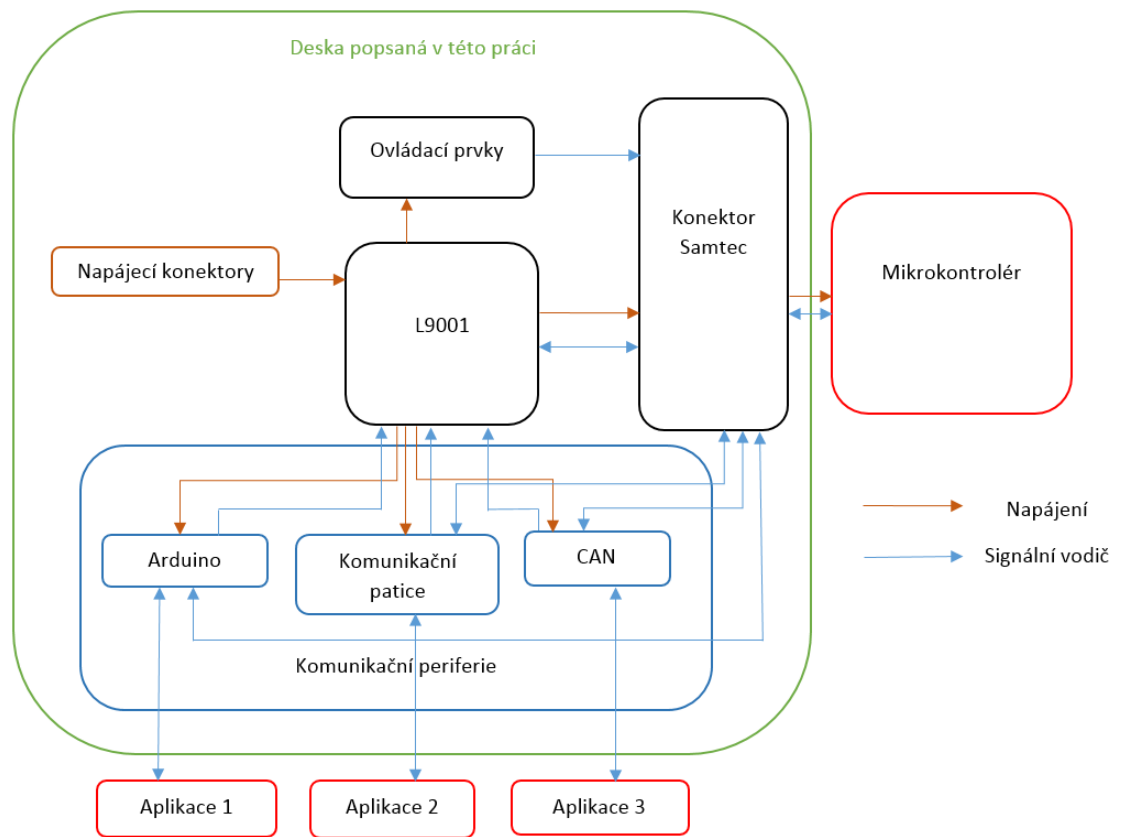
fakt, že firma STMicroelectronics již disponovala deskami s mikrokontroléry, které využívaly tento konektor. Obrázek 15 popisuje směr komunikace a napájení obvodu. Je patrné, že veškerá komunikace musí jít přes tento univerzální konektor směrem do mikrokontroléru.



Obrázek 15: Blokové schéma se Samtec konektorem.

Pro nastavování jednotlivých funkčních módů mikrokontrolérů byla na desku přidána Arduino patice. Do této patice se připojuje deska, která byla vyrobena firmou STMicroelectronics pro podobné účely. Obsahuje pár jednoduchých tlačítek pro ovládání mikrokontroléru a několik indikačních LED. Do budoucna by bylo vhodné navrhnout desku s větším počtem tlačítek pro možnost přepínání více módů.

Pro robustnost aplikace byly přidány ještě dvě periferie. První periferií je komunikační patice, do které je možné připojovat menší desky. Druhou periferií byl zvolen externí CAN konektor. CAN je nepoužívanějším komunikačním standardem v automobilovém průmyslu, a proto nesmí chybět na desce, která testuje napájecí zdroj pro automobilovou elektroniku. Celé blokové schéma zachycuje obrázek 16.



Obrázek 16 Výsledné blokové schéma obvodu

Napájecí konektor - Slouží k přivedení napájení z baterie do obvodu L9001.

L9001 - Rozvádí potřebné napětí do všech periférií.

Konektor Samtec - Slouží k připojování desky s mikrokontrolérem k testovací desce.

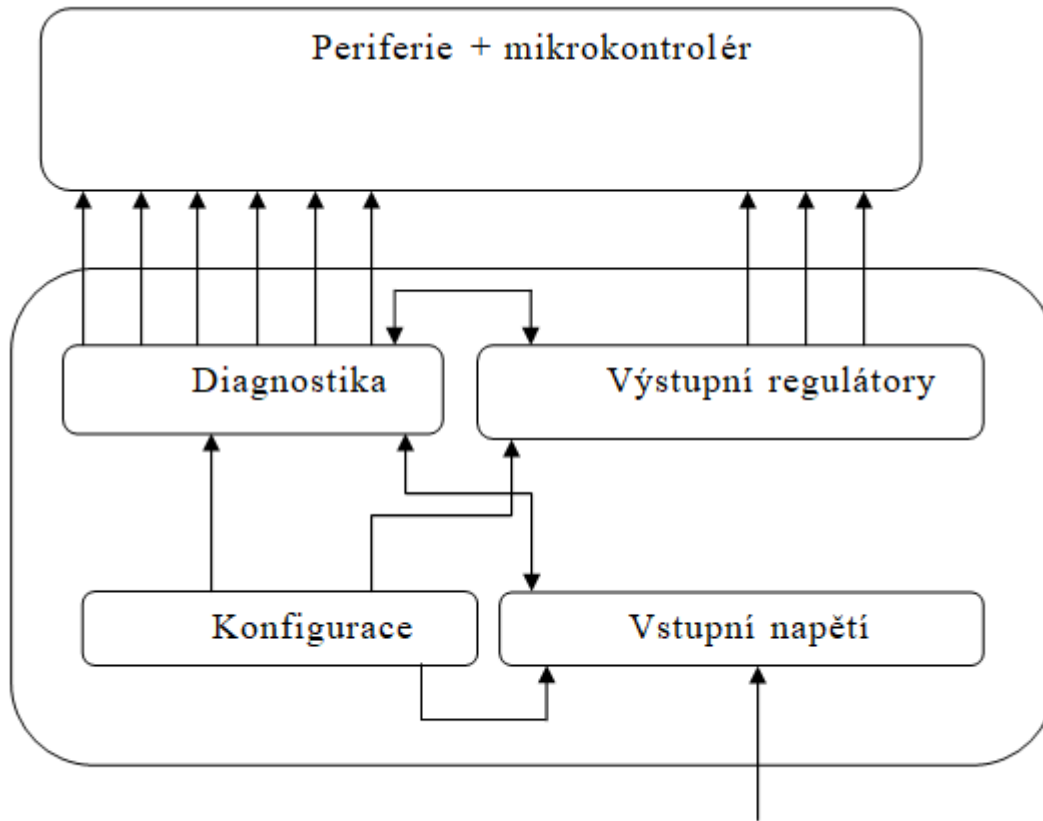
Komunikační periférie - Rozšiřují možnosti desky, možnost komunikace s připojenými aplikacemi.

4.2. BLOKOVÉ SCHÉMA OBVODU L9001

Blokové schéma obvodu L9001 by se nechalo rozdělit do čtyř bloků. Blok vstupního napětí, konfigurace, diagnostika a výstupní regulátory.



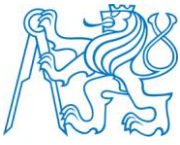
Z obrázku 17 je patrné, že konfigurací se dají ovlivnit všechny ostatní bloky. Konfigurace je dána uživatelem. Diagnostika ovlivňuje vstupní napětí, výstup z regulátorů a v případě nestandardního chování může vyvolat reset. Diagnostika tedy koná bez zásahu uživatele. Výstupní regulátory napájí celý obvod nastaveným napětím za předpokladu, že to diagnostika dovoluje.



Obrázek 17 Blokové schéma L9001

4.3. NÁVRH OBVODOVÉHO ZAPOJENÍ

Pro návrh univerzální desky bylo nutné začít od nejmenšího pouzdra mikrokontroléru a najít průnik jeho funkcí s vícepinovými pouzdry. Primárně bylo zamýšleno, aby celá komunikace mezi obvodem L9001, perifériemi a mikrokontrolérem byla možná na nejmenším mikrokontroléru. Bohužel 64 pinů nebylo dostatečných, a tak jsou některé funkce dostupné až od 100 pinového pouzdra.



4.3.1. SCHÉMA TOP

Hlavním úkolem tohoto schématu je propojení schémat zbylých. Na obrázku 31 (přílohy) jsou znázorněny čtyři funkční bloky, přičemž každý funkční blok odpovídá jednomu z obvodových schémat. Jednotlivé funkční bloky jsou propojeny vodiči a značky na jejich koncích znázorňují směr komunikace.

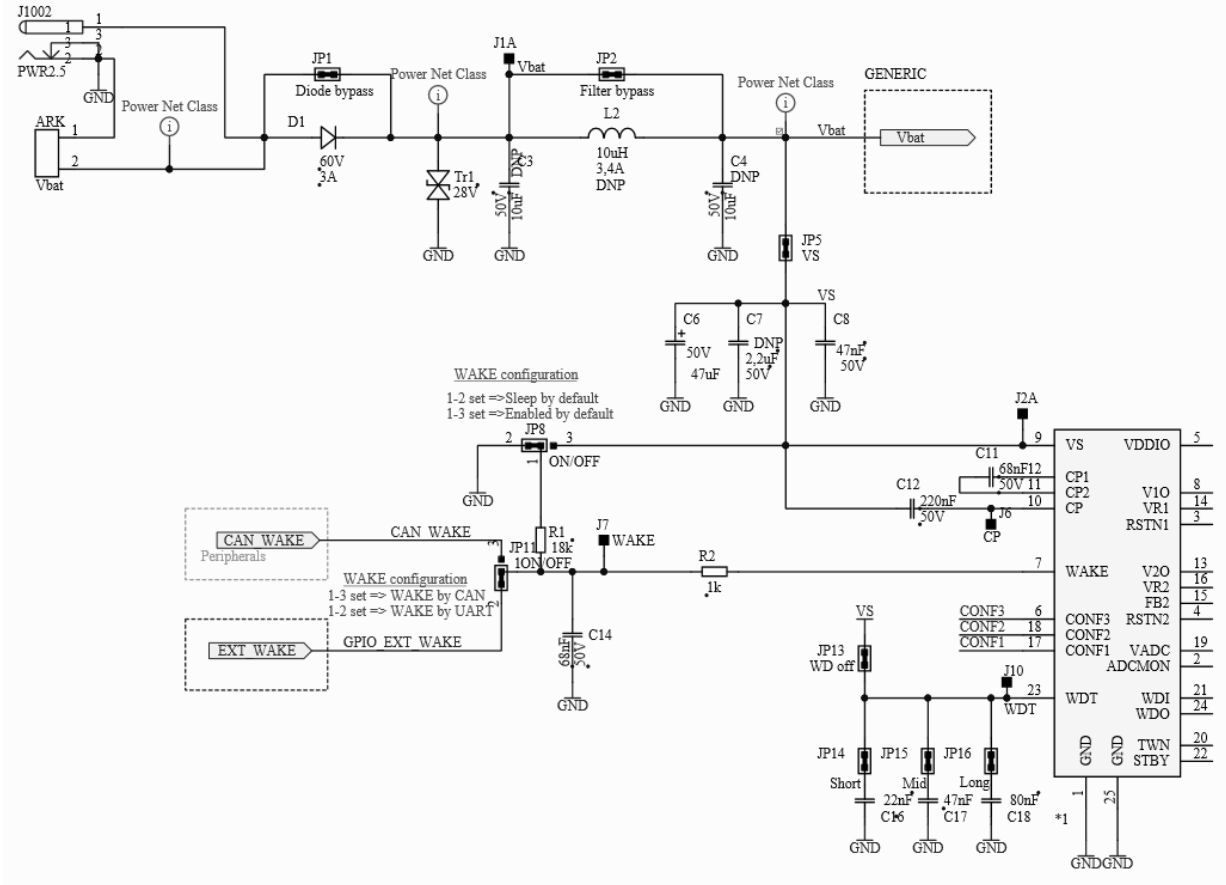
Schéma obsahuje dvě propojky. Jedná se o propojky, kterými je možno odpojit některé zařízení od resetovacího signálu. Reset může být vyvolán uživatelem, nebo samotným zařízením. Pokud má uživatel zájem resetovat pouze mikrokontrolér, odpojí jumper vedoucí do komunikačního socketu.

Na resetovací vstup Samtec konektoru je paralelně přiveden filtrační kondenzátor C500. Tento kondenzátor by měl být co nejbližší mikrokontroléru, ale bohužel některé desky ho neobsahují, tak je zapojen zde.

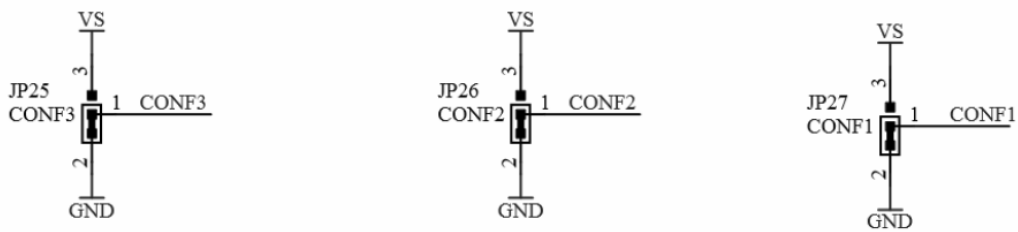
4.3.2. SCHÉMA ZAPOJENÍ L9001

VSTUPNÍ ČÁST OBVODU

Na vstupní konektor obvodu je přivedeno napájecí napětí, které prochází přes diodu D1, ta funguje jako ochrana proti přepólování vstupů. Paralelně k této diodě je možnost připojit propojku JP1, která zkratuje diodu D1. Výhodou jeho připojení je, že nedochází k úbytku napětí na diodě D1. Nevýhodou je, že obvod již není chráněn proti přepólování. Za těmito součástkami je připojen transil směrem k zemi a chrání obvod před vysokým napětím. Proud prochází dále do filtrační cívky, kterou je možné zkratovat přes paralelně zapojenou propojku JP2. Jumper JP5 propojuje vstup integrovaného obvodu L9001 a vstupní napětí z baterie. Aby L9001 pracovala v aktivním režimu, je nutné, aby vstupní pin Wake byl v logické 1. Pin Wake může být nastaven do logické 1 pomocí propojky JP8, externí periferií CAN, nebo z komunikační patice. Výběr mezi komunikační paticí a CAN periferií je možno provést pomocí propojky JP11. Vstupní část obvodu je zachycena na obrázku 18 a 19.



Obrázek 18: Vstupní části obvodu L9001.



Obrázek 19: Konfigurační piny regulátorů obvodu L9001.

Doba okna Watchdogu se dá měnit velikostí paralelně připojeného kondenzátoru. Podle rovnice:

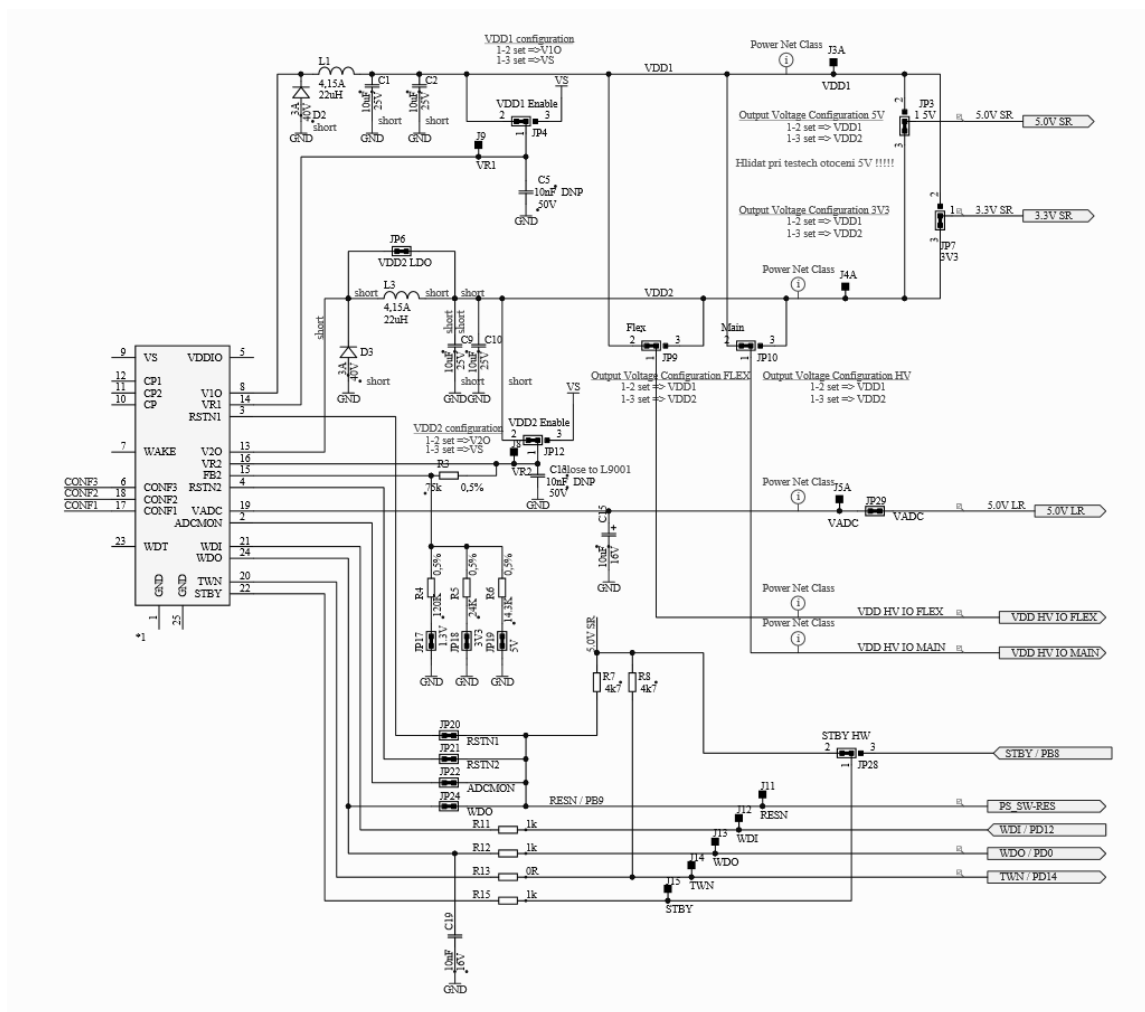
$$t_{WD} = t_{WD}(47 \text{ nF}) * C_{WD}/47 \text{ nF} \quad (4.1)$$



Tato rovnice říká, že doba okna watchdogu je rovna době watchdogu s připojenou kapacitou 47 nF krát poměr připojené kapacity ku kapacitě 47 nF. Doba $t_{WD}(47\text{ nF})$ je konstanta a kapacita 47 nF také. Tedy t_{WD} je přímo úměrné kondenzátoru C_{WD} .

Výstup jednotlivých regulátorů je nastavován pomocí jumperů JP25, JP26 a JP27. Všechny výše zmíněné konfigurace jumperů jsou popsány v tabulce 1.

VÝSTUPNÍ ČÁST OBVODU



Obrázek 20: Výstupní části obvodu L9001.

Výstup jednotlivých regulátorů je nastavován pomocí propojky JP25, JP26 a JP27. Všechny výše zmíněné konfigurace propojek jsou popsány v tabulce 2.



Regulátor VDD1 funguje jako Buck. FET tranzistor je integrován v obvodu L9001 a na jeho výstupu jsou součástky nutné pro správné fungování Buck regulátoru. Za regulátorem je připojena propojka JP4, kterým se nastavuje referenční napětí na VR1 pinu. Tento pin má paralelně připojený kondenzátor k zemi pro stabilitu napětí. Regulátor VDD1 může být odpojen za předpokladu, že přivedeme pomocí propojky JP4, napětí VS na vstup VR1 a CONF3 přivedeme na zem. Na výstupu jsou čtyři paralelní propojky, společně pro VDD2. Těmito propojkami se nastavuje, ze kterého regulátoru napájíme periferie a mikrokontrolér. Požadavek byl, aby bylo možné napájet nezávisle mikrokontrolér z kteréhokoli regulátoru na 5 V, nebo 3,3 V a stejně tak i periferie. V prvotním návrhu byl požadavek i na 1,25 V. Ovšem z interních katalogových listů bylo zjištěno, že mikrokontroléry obsahují vnitřní ballast na 1,25 V. To tedy znamená, že tato napěťová úroveň nebyla nutná, jelikož si jí mikrokontrolér vytváří sám.[11][12][13]

Regulátor VDD2 funguje jako Buck s integrovaným FET tranzistorem, nebo jako LDO. Volba mezi Buck a LDO se provádí propojkou JP26 na vstupním pinu CONF2 (viz tabulka 1). Regulátor VDD2 má na výstupní cívce L3 možnost připojení paralelní propojky JP6. Tato propojka se připojuje v případě, že regulátor VDD2 je nastaven do LDO módu. Propojkou JP12 je povolena funkce regulátoru VDD2 (viz tabulka 2). Pinem FB2 je možné nastavit výstupní napětí regulátoru VDD2. K tomuto účelu slouží 3 propojky JP17, JP18 a JP19, pro které bylo vypočítáno napětí pro 3 různé varianty. Výpočet spočívá v jednoduchém napěťovém děliči. Dle katalogového listu se snaží pin FB2 udržet napětí mezi jeho vstupem a zemí na hodnotě 0,8 V. Výstupní napěťové úrovně byly zvoleny 1,3 V / 3,3V a 5,0 V. Hodnota odporu R3 byla zvolena 75 kΩ. Podle následujícího odvození byly vypočítány odpory R4, R5, R6 (V rovnici odpovídají odporu Rx).

$$U_{VDD2} = U_{FB2} \frac{R_3 + R_x}{R_3} \quad (4.2)$$

$$\frac{U_{VDD2}}{U_{FB2}} = \frac{R_3 + R_x}{R_3} \quad (4.3)$$

$$\frac{U_{VDD2}}{U_{FB2}} * R_x = R_x + R_3 \quad (4.4)$$

$$\frac{U_{VDD2}}{U_{FB2}} * R_x - R_x = R_3 \quad (4.5)$$



$$R_x * \left(\frac{U_{VDD2}}{U_{FB2}} - 1 \right) = R_3 \quad (4.6)$$

$$R_x = \frac{R_3}{\left(\frac{U_{VDD2}}{U_{FB2}} - 1 \right)} \quad (4.7)$$

Tedy můžeme psát pro:

$$R_{1,3V} = \frac{75K}{\left(\frac{1,3V}{0,8V} - 1 \right)} = 120 \text{ k}\Omega \quad (4.8)$$

$$R_{3,3V} = \frac{75K}{\left(\frac{3,3V}{0,8V} - 1 \right)} = 24 \text{ k}\Omega \quad (4.9)$$

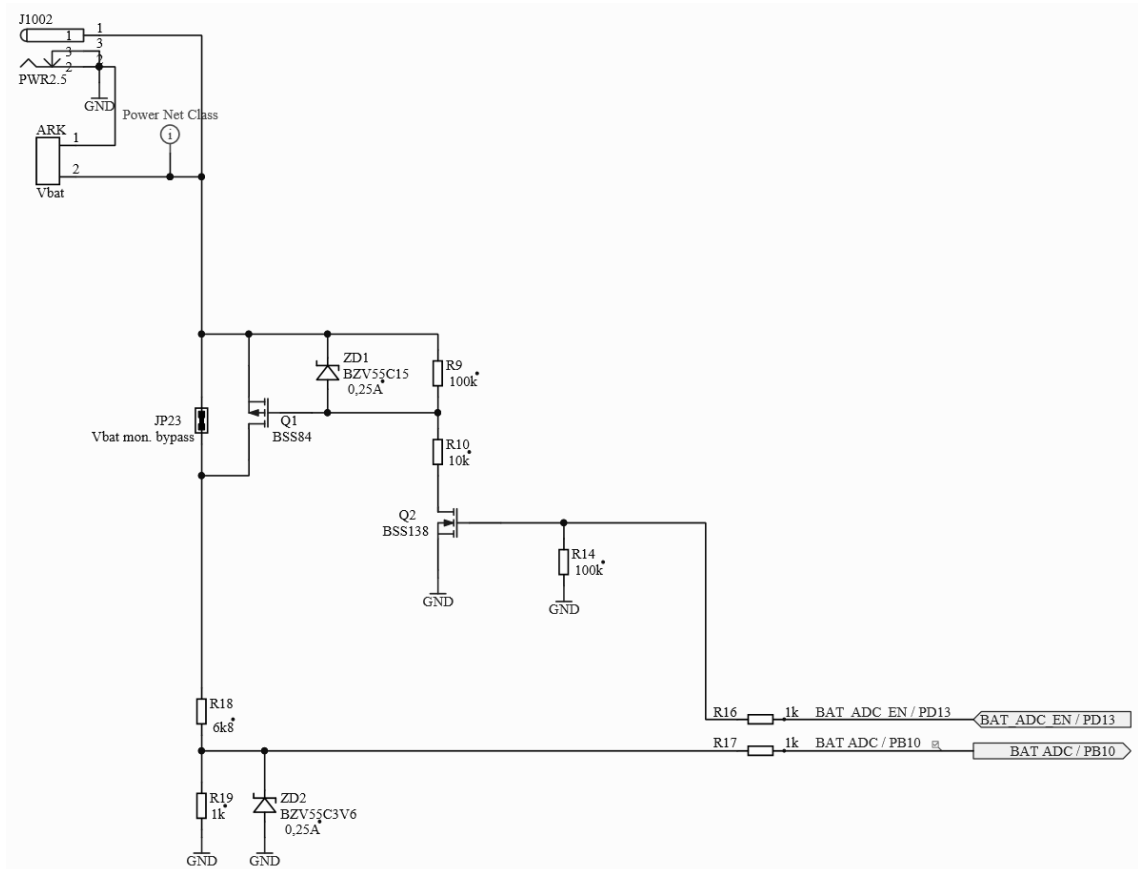
$$R_{5V} = \frac{75K}{\left(\frac{5V}{0,8V} - 1 \right)} = 14,3 \text{ k}\Omega \quad (4.10)$$

Regulátor VADC je přiveden přímo do mikrokontroléru přes paralelně připojený filtrační kondenzátor. Propojka JP29 umožňuje odpojení VADC od zbytku desky.

RSTN1, RSTN2 a ADCMON jsou monitorovací piny, které dohlíží na to, že jejich regulátory jsou v definovaném napěťovém rozsahu. RSTN1 dohlíží na VDD1, RSTN2 dohlíží na VDD2 a ADCMON dohlíží na VADC. V případě, že se některý z regulátorů dostane mimo definované napětí, tak se jejich příslušný pin nastaví do logické 0. V případě, že se napětí vrátí do stanovené meze, tak se pin nastaví zpět do logické 1. Tyto piny fungují jako reset obvodu L9001.



KONTROLA VSTUPNÍHO NAPĚTÍ



Obrázek 21: Kontrola vstupního napětí.

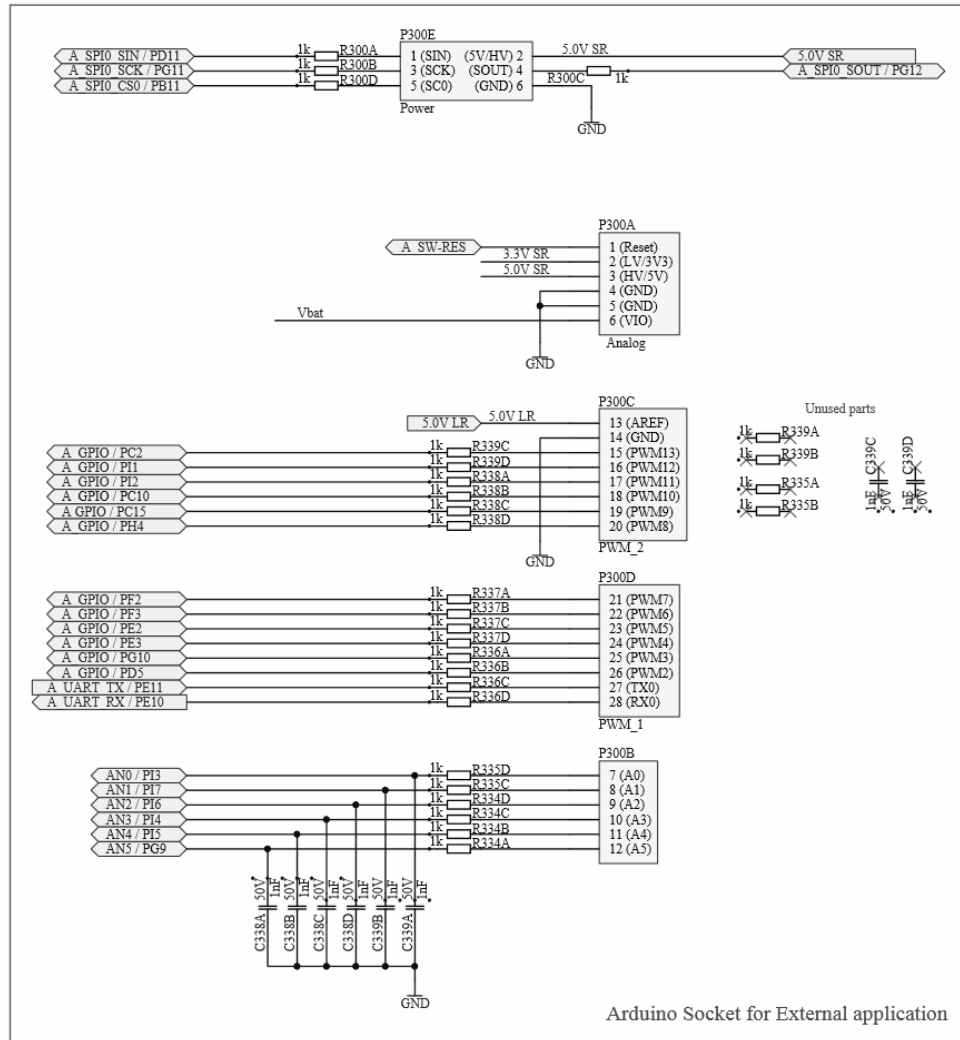
Funkce obvodu na obrázku 21 spočívá v monitorování vstupního napětí Vbat. Toto napětí se měří pomocí ADC převodníku v mikrokontroléru. Pokud tato funkce není vyžadována je možnost ji odpojit tím, že se signál BAT ADC EN nastaví do logické 0. Tento signál vede na hradlo tranzistoru Q2. Pokud na hradlo není přivedeno žádné napětí, tak je tranzistor uzavřen a odpory R9 a R10 neprotéká žádný proud, tedy je na nich nulový úbytek napětí a tranzistor Q1 je uzavřen.

V případě, že uživatel chce monitorovat vstupní napětí trvale a má možnost propojit propojku JP23, kterým je přivedeno napětí na dělič R18 a R19.



4.3.3. KOMUNIKAČNÍ PERIFERIE

4.1.3.1 ARDUINO



Obrázek 22: Piny Arduino patice.

Na obrázku 22 je schéma zapojení Arduino patice a jeho jednotlivé výstupy. Jak bylo uvedeno v kapitole 4 Postup návrhu, Arduino patice byla využita hlavně kvůli připojení univerzální desky pro ovládání jednotlivých režimů mikrokontroléru.

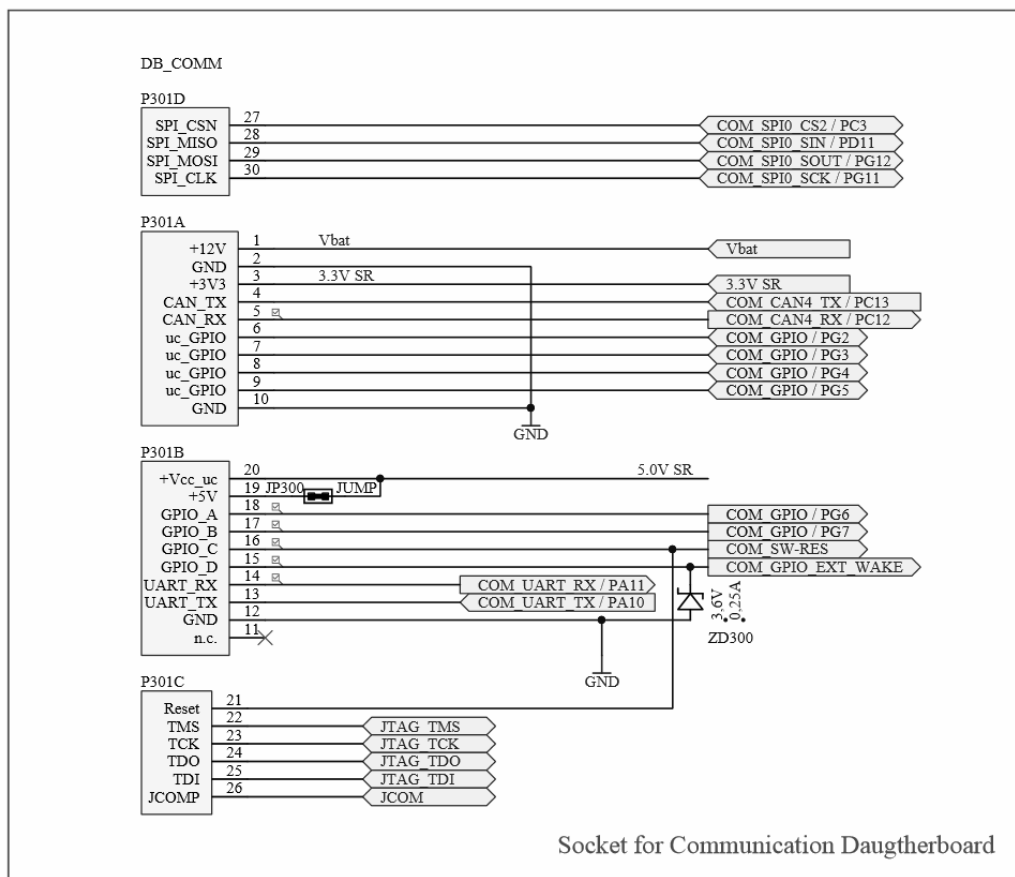
Patice ovšem může mít i jiné využití než pouze toto ovládání. Arduino patice obsahuje 6 analogových pinů a podporuje sériovou komunikaci UART a



SPI. Kromě těchto sběrnic disponuje 12 vstupně-výstupními piny. Dále obsahuje SW reset, kterým je možné resetovat mikrokontrolér, aplikaci připojenou do komunikační patice, nebo je případně možné tímto pinem resetovat samotnou desku připojenou v Arduino patici.

Nevyužité součástky ve schématu (obrázek 22) jsou zde kvůli tomu, že rezistory a kondenzátory jsou po čtyřech v jednom integrovaném obvodu, a pokud by nebyly definované i nepoužité části, tak by Altium, ve kterém byl návrh vytvořen, hlásilo chybu o nepřipojené součástce, nebo v horším případě by při automatické anotaci zaměnilo název součástek využitých za součástky nevyužité.

4.1.3.2 KOMUNIKAČNÍ PATICE



Obrázek 23: Piny komunikační patice.

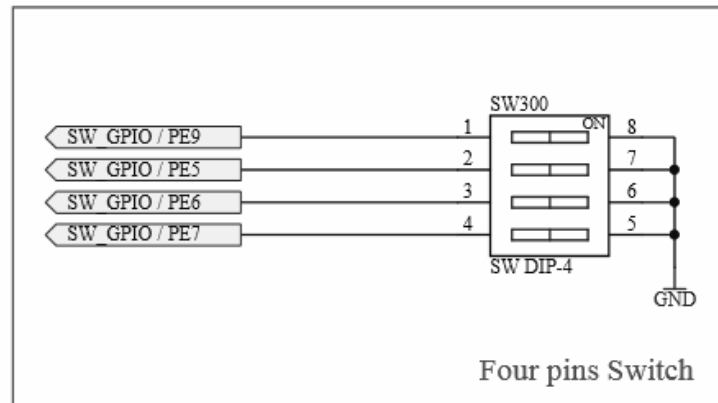
Komunikační patice na obrázku 23 rozšiřuje funkce celé desky. Obsahuje JTAG, kterým je možné programovat mikrokontrolér. Většina desek



s mikrokontrolérem, které se připojují přes Samtec, JTAG obsahují, ale nemusí tomu být vždy tak. Patice dále podporuje sériovou komunikaci po UART, CAN a SPI. Pro ušetření pinů na mikrokontroléru se na komunikační patici vyskytuje stejné SPI, jako u Arduina. Výběr komunikace mezi jednotlivými periferiemi se provádí jako obvykle pomocí CS.

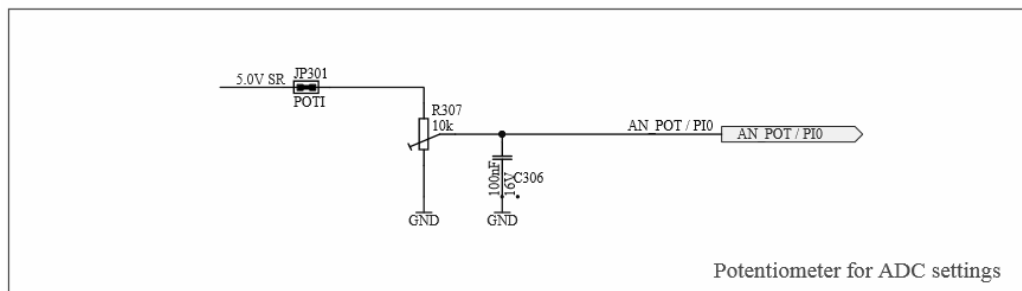
4.1.3.3 OVLÁDACÍ PRVKY

Pro možnost některých jednoduchých nastavení byl na desku přidán 4 pinový přepínač (obrázek 24). Sepnutím jednotlivých přepínacích tlačítek se připojí vstupní pin k zemi a definuje se mu tak logická 0.



Obrázek 24: Schéma zapojení čtyřpinového přepínače.

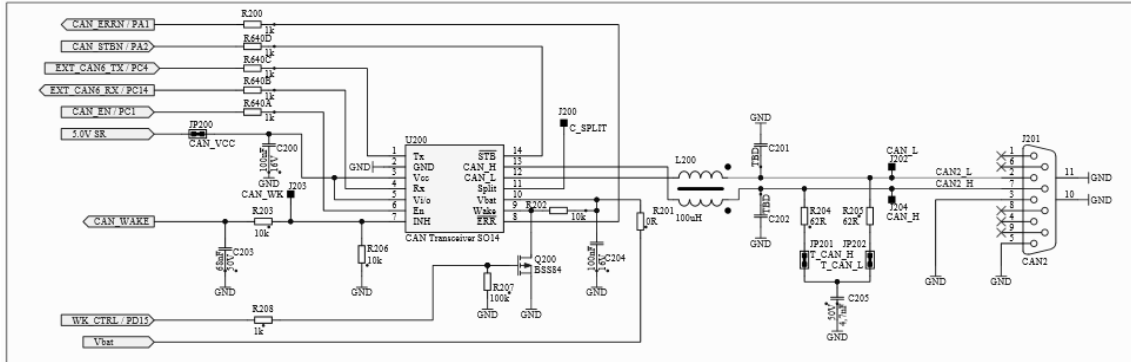
Pro změnu napěťové reference analogového převodníku, je na vstupní pin připojen potenciometr, kterým je možné napětí regulovat v rozsahu od 5 V do 0 V (obrázek 25).



Obrázek 25: Regulace referenčního napětí ADC.



4.1.3.4 EXTERNÍ CAN KONEKTOR



Obrázek 26: Schéma zapojení externího CAN obvodu.

Externí konektor CAN (obrázek 26) umožňuje uživateli připojovat externí zařízení přes standardizovanou sběrnici pro automobilový průmysl. Za tímto konektorem je zapotřebí obvod, který převádí analogový signál a digitální a naopak. Pro tyto účely byl zvolen integrovaný obvod TJA1041, který je plně kompatibilní se standardem ISO 11898 a podporuje přenos dat do 1Mb/s. Jedná se o rozšířené 14 pinové pouzdro, které zároveň obsahuje řadu funkcí. Kromě napájení a komunikačních pinů Rx a Tx obsahuje pin EN. Tímto pinem povoluje mikrokontrolér komunikaci s připojenou periferií. Pin INH vypíná výstup z externího regulátoru. Pin Split stabilizuje napětí mezi CANH a CANL. Napětí na Split pinu by mělo být přesně uprostřed mezi těmito piny.

Externí CAN nebyl nezbytný pro měření obvodu L9001, ale byl požadavek o jeho zařazení mezi periferie na desce pro budoucí využití. Díky tomuto konektoru může být deska využita i pro jiné účely, než pouze testování obvodu L9001. Například je možné testovat správnost navrženého softwaru nahraného v mikrokontroléru, kdy tato deska může sloužit jako napájecí zdroj a zároveň brána pro komunikaci s připojeným zařízením.



5. NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE

Návrh plošného spoje probíhal, stejně jako návrh schématu, v programu Altium. Jelikož se jedná o desku větších rozměrů a někdy i s delšími vodivými trasami, bylo rozhodnuto, že plošný spoj bude mít minimálně šest vrstev. Z těchto šesti vrstev byla jedna vrstva vyhrazena pouze pro uzemnění. Další dvě vrstvy byly zvoleny jako napájecí. V těchto vrstvách jsou vytvořené široké vodivé cesty pro snížení jejich odporu. Ostatní tři vrstvy jsou určeny pro datové signály. Zbylý prostor v těchto třech vrstvách byl využit pro rozlité společných zemí.

Kolem obvodu L9001 byl na spodní vrstvě ponechán prostor pro celistvé rozlité mědi o rozměrech zhruba 5 cm x 5 cm. Tento prostor je zde z důvodu lepšího chlazení napájecího obvodu.

Dále byl kladen důraz na optimalizování tras a to zejména mezi kondenzátory na vstupu obvodu L9001, samotným integrovaným obvodem a výstupními součástkami na VDD1 a VDD2 regulátoru. Zájem byl takový, aby tyto součástky byly co nejbližše sebe, jejich propojovací trasy byly co nejširší a zároveň i jejich společná zem byla co nejkratší.

Optimalizace datových a signálových vodičů byla komplikovanější z toho hlediska, že nebylo možné optimalizovat obvod již v návrhu schématu, jelikož byla nutná kompatibilita i s mikrokontroléry s pouzdry 64 pinů. Bylo tedy zapotřebí vybrat konkrétní piny na konektoru Samtec. Z tohoto důvodu musely být některé vodiče vedeny takřka diagonálně přes celou desku. U těchto vodičů byl kladen důraz na to, aby byly pouze signálové, nikoli datové, a tak se na nich neprojevovalo tolik rušení. Velký důraz byl také kladen na shodnost vedení diferenciálních párů u Rx / Tx komunikací.

Možnosti jak snížit toto rušení a zkrátit délky tras bylo zmenšit celou desku. Z tohoto důvodu byl Samtec konektor, do kterého se připojují jednotlivé mikrokontroléry, připájen ze spodní strany desky. Tato varianta snížila celkový rozměr desky o cca 40 %. Nevýhodou tohoto řešení je, že v případě nutnosti změny nastavení na straně desky s mikrokontrolérem je nutné desku otočit. Dalšího zmenšení rozměrů desky bylo docíleno tak, že součástky pro externí CAN periférii byly osazeny pod Arduino konektor.



6. KOMERČNÍ VYUŽITÍ OBVODU L9001

Samotný plošný spoj vytvořený v této práci nemůže být využit v komerční sféře. Jedná se o šestivrstvou desku s množstvím různých nastavení pro měření obvodu L9001. Velikost desky je 17 cm x 12 cm, což je další limitace pro komerční použití. Primární účel této desky je otestovat vlastnosti obvodu L9001 s jednotlivými mikrokontroléry. Samotná deska tedy necílí na veřejný trh.

Ovšem obvod L9001, měřený touto deskou má velký potenciál v komerční sféře. Jedná se o obvod, který disponuje řadou napěťových možností a svými funkcemi podléhá automobilovým standardům. Firma STMicroelectronics předpokládá jeho využití v předních automobilových značkách.



ZÁVĚR

V úvodní části práce byla popsána problematika a předloženy informace, jako jsou napěťové měniče, komunikace po různých sběrnících a převod informace mezi analogovým a digitálním prostředím. Tyto základní informace byly nutné pro vytvoření a správné fungování zadaného plošného spoje.

Práce dále obsahuje krátký popis stávajícího řešení a návrh jeho modifikace pro zrychlení a usnadnění měření obvodu L9001 napříč dostupnými mikrokontroléry firmy STMicroelectronics. Kdy návrh pouze jedné univerzální desky pro mikrokontroléry řady SPC57/58 by výrazně ušetřil čas i peníze samotné firmě.

Další část práce se zabývá rozbořem funkce samotného obvodu L9001. Popisuje jednotlivé regulátory a jejich konfigurace, pro změnu výstupního napětí. V této části práce jsou také popsány jednotlivé nestandardní scénáře a následná reakce obvodu přepnutí do různých režimů podle potřeby v dané situaci.

Kapitola 4 Postup návrhu navazuje na předešlé informace, podle nichž je sestaveno schéma obvodu. Prochází jednotlivá schémata a popisuje, k čemu jednotlivé prvky slouží. Zaměřuje se na využití a důvody propojek. Dále vysvětluje princip použitých patič a sběrnících.

V kapitole 5 Návrh plošného spoje je popsáno, na co byl kladen největší důraz a také z jakého důvodu. Dále objasňuje proč je obvod složen z šesti vrstev.

Celkovým výsledkem této práce je univerzální deska, jejímž primárním účelem je možnost otestování napájecího obvodu L9001 s mikrokontroléry firmy STMicroelectronics. Deska disponuje dalšími možnostmi pro připojení menších desek do Arduino nebo komunikační patiči. Dále obsahuje externí CAN konektor, přes který může komunikovat s dalšími deskami. Celkový koncept desky nebyl zamýšlen pro komerční využití. Jedná se o desku pro interní účely firmy. Kdy na základě výsledků měření, firma rozhodne, zdali je obvod L9001 pro komerční využití vhodný.



LITERATURA

- [1] Stejnoseměrné měniče. přednášky výkonová elektronika - PDF. [online] 2018. Copyright © DocPlayer.cz. Dostupné z: <http://docplayer.cz/8222759-Stejnosemerne-menice-prednasky-vykonova-elektronika.html>
- [2] Kombinační logické obvody [Kalábovi]. Kalábovi [Kalábovi] [online]. Dostupné z: https://kalabovi.org/pitel:isz:kombinacni_obvody
- [3] Serial Peripheral Interface Bus - Wikipedia. [online]. 2018 Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus
- [4] Isolate Your High-Speed SPI Bus Despite Long Propagation Delays | Electronic Design. Electronic Design [online] 2017. Dostupné z: <http://www.electronicdesign.com/microcontrollers/isolate-your-high-speed-spi-bus-despite-long-propagation-delays>
- [5] Welcome to vincent's Page. Fab Academy Courses [online] 2016. Dostupné z: <http://archive.fabacademy.org/archives/2016/fablabshangai/students/96/w15.html>
- [6] Basics of UART Communication. Circuit Basics - Arduino, Raspberry Pi, and DIY Electronics Tutorials [online] 2017. Dostupné z: <http://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>
- [7] Radio-Electronics.com: resources, analysis & news for electronics engineers [online]. Copyright © Dostupné z: <http://www.radio-electronics.com/info/power-management/switching-mode-power-supply/step-down-buck-regulator-converter-basics.php>
- [8] NEUMANN, Přemek a Jan UHLÍŘ. Elektronické obvody a funkční bloky. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03281-7.
- [9] NEUMANN, Přemek a Jan UHLÍŘ. Elektronické obvody a funkční bloky. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02394-X.
- [10] Simple power supply L9001 katalogový list [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.st.com>



- [11] Mikrokontrolér Chorus 2M katalogový list [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.st.com>
- [12] Mikrokontrolér Chorus 2M reference manuál [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.st.com>
- [13] SPC58NN84R7reference manuál [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.st.com>
- [14] LV124 - VW_80000CZ [online]. 2014. Dostupné z: <https://www.st.com>
- [15] Understanding Noise and PSRR in LDOs. All About Circuits - Electrical Engineering & Electronics Community [online].
Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/understanding-noise-and-psrr-in-ldos/>
- [16] File:Charge pump doubler schematic.svg - Wikimedia Commons. [online].
z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charge_pump_doubler_schematic.svg
- [17] ADC převodník Wikipedie [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/A/D_p%C5%99evodn%C3%ADk#/media/File:Komparacni_AD_prevodnik.png
- [18] CAN & CAN FD - serial protocol decoding. PC Oscilloscope, Data Logger & RF Products | Pico Technology [online]. Dostupné z: <https://www.picotech.com/library/oscilloscopes/can-bus-serial-protocol-decoding>



PŘÍLOHY

Tabulka 1 Konfigurace obvodu L9001

Jumper	Pozice	Možnosti
JP1	D1 bypass	Propojeno
		Odpojeno
JP2	L2 bypass	Propojeno
		Odpojeno
JP5	VS enable	Propojeno
		Odpojeno
JP8	WAKE enable - VS	1-2 = GND
		1-3 = VS
		Nezapojeno
JP11	WAKE externí	1-2 = komunikační patice
		1-3 = externí CAN
		Odpojeno
JP13	WD enable	Propojeno
		Odpojeno
JP14	WD - short	Nastavení délky WD
JP15	WD - mid	
JP16	WD - long	
JP25	VDD1	1- 2 = 3,3 V
		1-3 = 6 V
		Odpojeno = 5 V
JP26	VDD2	1-2 = BUCK
		1-3 = LDO
		Rozpojeno = fail
JP27	VADC	1-2 = 3,3 V
		1-3 = 5 V
		Rozpojeno = fail



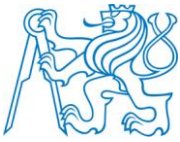
Tabulka 2 Konfigurace obvodu L9001

Jumpery:	Pozice	Možnosti
JP3	5,0 V SR	1-2 = VDD1
		1-3 = VDD2
JP4	VDD1 VR1	1-2 = VDD1
		1-3 = VS
JP6	VDD2 LDO	L3 bypass
JP7	3,3 V SR	1-2 = VDD1
		1-3 = VDD2
JP9	FLEX	1-2 = VDD1
		1-3 = VDD2
JP10	MAIN	1-2 = VDD1
		1-3 = VDD2
JP12	VDD2 VR2	1-2 = VDD2
		1-3 = VS
JP13	WD vypnutí	Spojeno
		Rozpojeno
JP17	FB - 1V3	
JP18	FB - 3V3	
JP19	FB - 5V	
JP20	RSTN1	Propojeno
		Rozpojeno
JP21	RSTN2	Propojeno
		Rozpojeno
JP22	ADCMON	Propojeno
		Rozpojeno
JP23	VBAT bypass	Propojeno
		Rozpojeno
JP24	WDO	Propojeno
		Rozpojeno



Tabulka 3 Seznam součástek

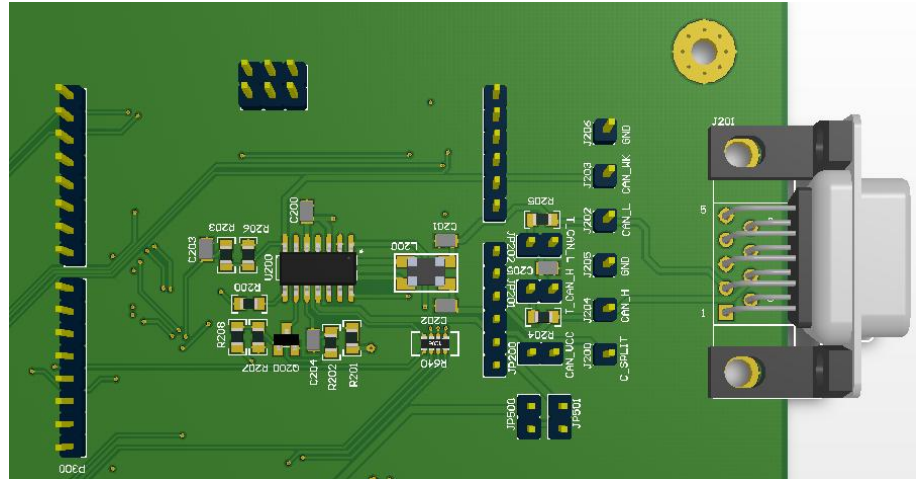
Název	Popis
*1	L9001
ARK	Vbat
C1, C2, C9, C10	10u Ceramic capacitor
C3, C4	10u Ceramic capacitor
C5, C13	10nF Ceramic capacitor
C6	47uF Electrolytic capacitor
C7	2,2uF Ceramic capacitor
C8, C17	47nF Ceramic capacitor
C11, C14	68nF Ceramic capacitor
C12	220nF Ceramic capacitor
C15	10uF Tantalum capacitor
C16	22nF Ceramic capacitor
C18	80nF Ceramic capacitor
C19, C200, C204, C306	100nF Ceramic capacitor
C201, C202	Ceramic capacitor with undetermined value
C203	68nF Ceramic capacitor
C205	4,7nF Ceramic capacitor
C338, C339	1nF Ceramic capacitor array
C500	1nF Ceramic capacitor
D1	60V/3A Automotive Schottky Diode STPS3L60U
D2, D3	40V/3A Automotive Schottky Diode
J1	Vbat GND
J2	VS GND
J3	VDD1 GND
J4	VDD2 GND
J5	VADC GND
J6	CP
J7	WK
J8	VR2
J9	VR1
J10, J12, J13, J15	PIN
J11	RESN
J14	TWN
J100, J101	QTH-120
J200	C_SPLIT
J201	CAN2
J202	CAN_L
J203	CAN_WK
J204	CAN_H
J205, J206	GND
J1002	PWR2.5
JP1	Diode bypass
JP2	Filter bypass
JP3	5V



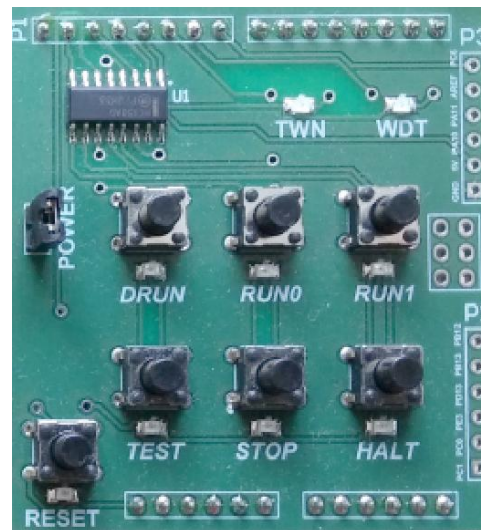
JP4	VDD1 Enable
JP5	VS
JP6	VDD2 LDO
JP7	3V3
JP8	ON/OFF Wk
JP9	Flex
JP10	Main
JP11	EXT/UART
JP12	VDD2 Enable
JP13	WD off
JP14	Short
JP15	Mid
JP16	Long
JP17	1.3V
JP18	3V3
JP19	5V
JP20	RSTN1
JP21	RSTN2
JP22	ADCMON
JP23	Vbat mon. bypass
JP24	WDO
JP25	CONF3
JP26	CONF2
JP27	CONF1
JP28	STBY HW
JP29	VADC
JP200	CAN_VCC
JP201	T_CAN_H
JP202	T_CAN_L
JP300	JUMP
JP301	POTI
JP500, JP501	RESET
L1, L3	22uH
L2	10uH
L200	Common Mode Choke for CAN
P300	Arduino UNO
P301	Communication daughterboard
Q1, Q200	P-Channel Enhancement Mode Vertical DMOS FET
Q2	N-Channel Enhancement Mode Vertical DMOS FET
R1	18k Resistor
R2, R11, R12, R15, R16, R17, R19, R200, R208	1k Resistor
R3	75k Resistor
R4	4k3 Resistor
R5	24k Resistor
R6	150k Resistor
R7, R8	4k7 Resistor



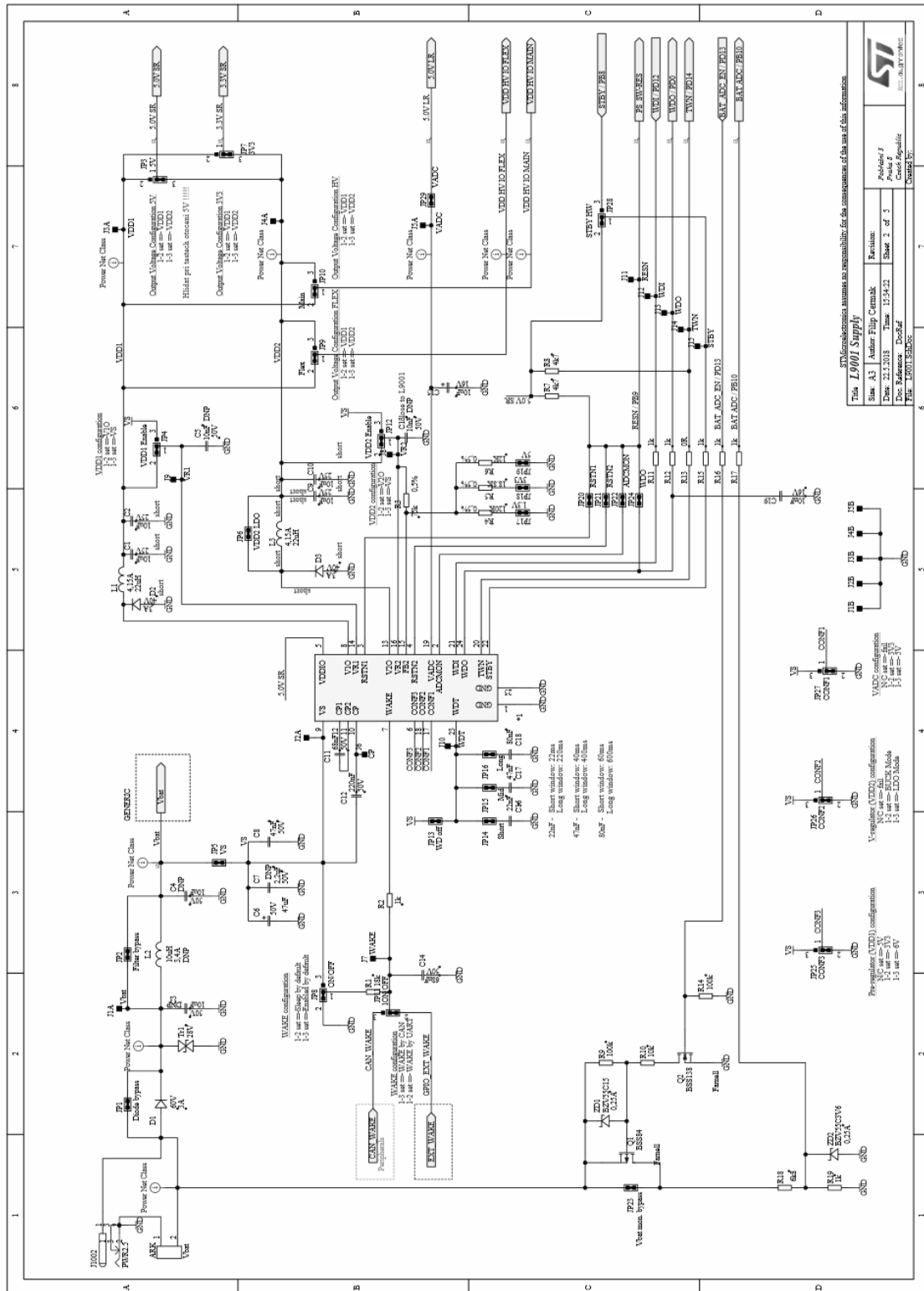
R9, R14, R207	100k Resistor
R10, R202, R203, R206	10k Resistor
R13, R500	1k Resistor
R18	6k8 Resistor
R201	Shortable 0805 Footprint
R204, R205	62R Resistor
R300, R334, R335, R336, R337, R338, R339, R640	1k Resistor array - 4x
R307	10k
SW300	4 way On/Off switch
Tr1	28V/400W Bidirectional Transil
U200	HS CAN Transceiver with stby mode SO14
ZD1	15V/0,25A Zener Diode
ZD2, ZD300	3,6V/0,25A Zener Diode



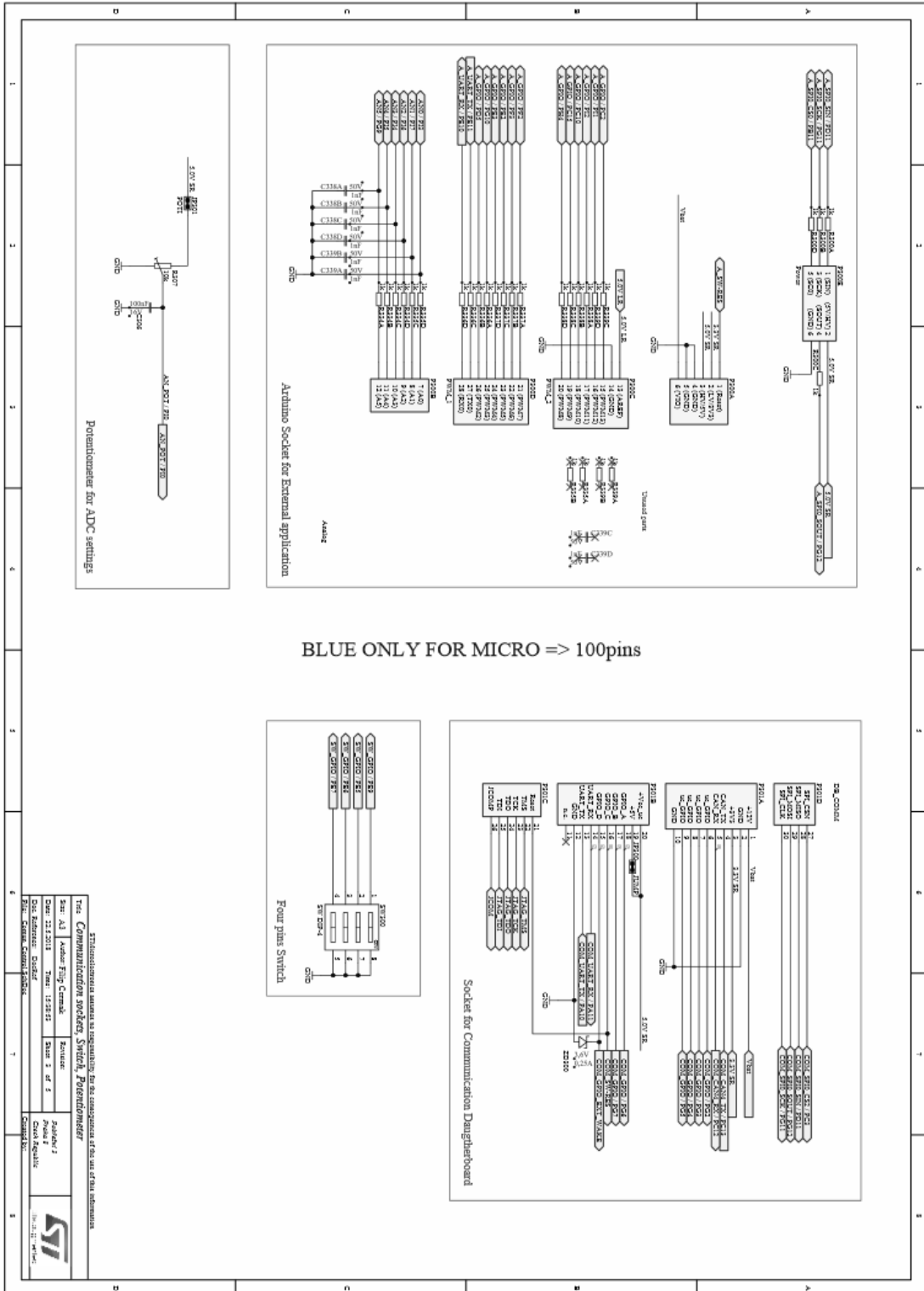
Obrázek 27 detail na Can konektor a Arduino patice



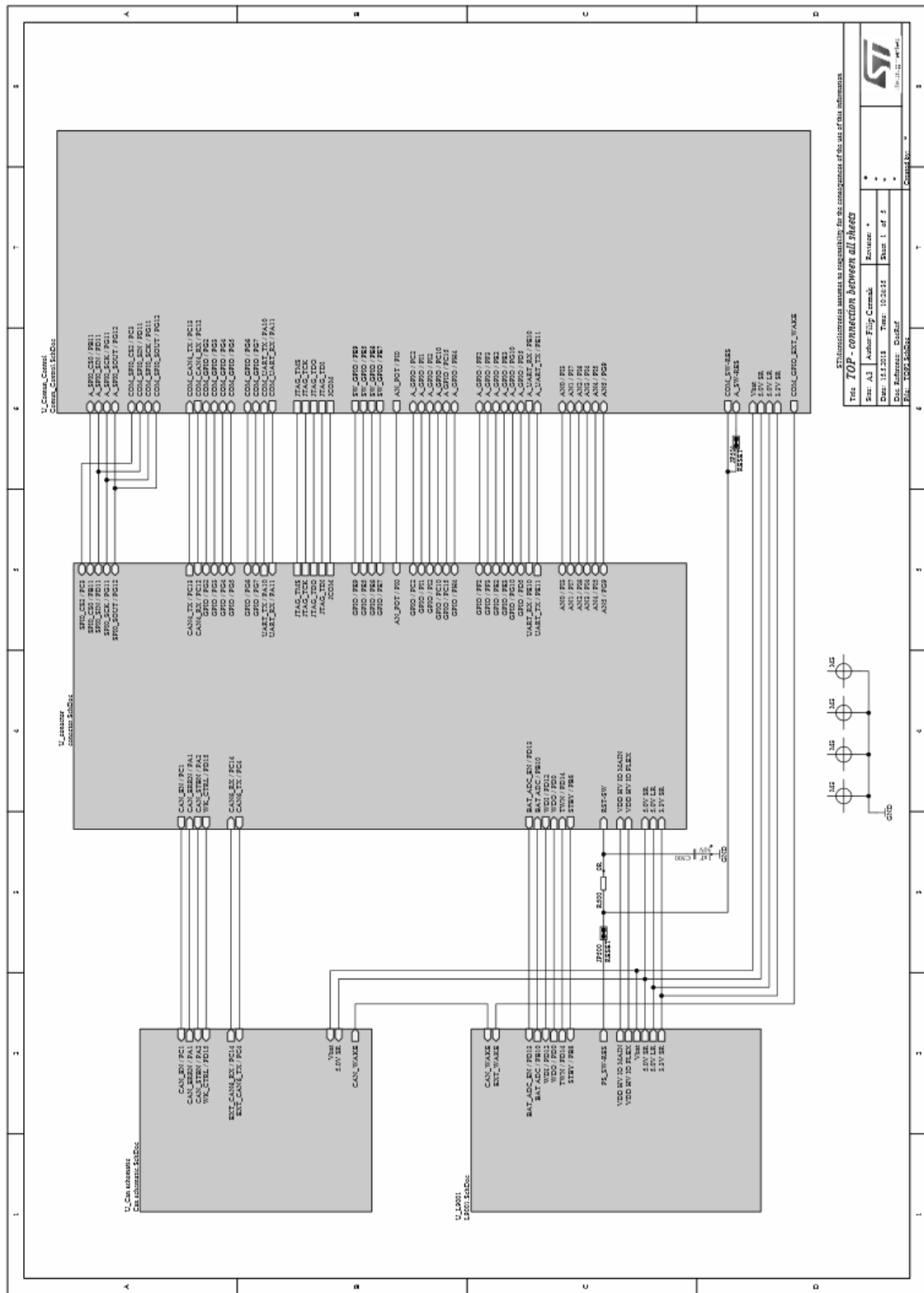
Obrázek 28 Arduino deska pro ovládání módů



Obrázek 29 Schéma zapojení obvodu L9001



Obrázek 30 Komunikační a ovládací prvky desky

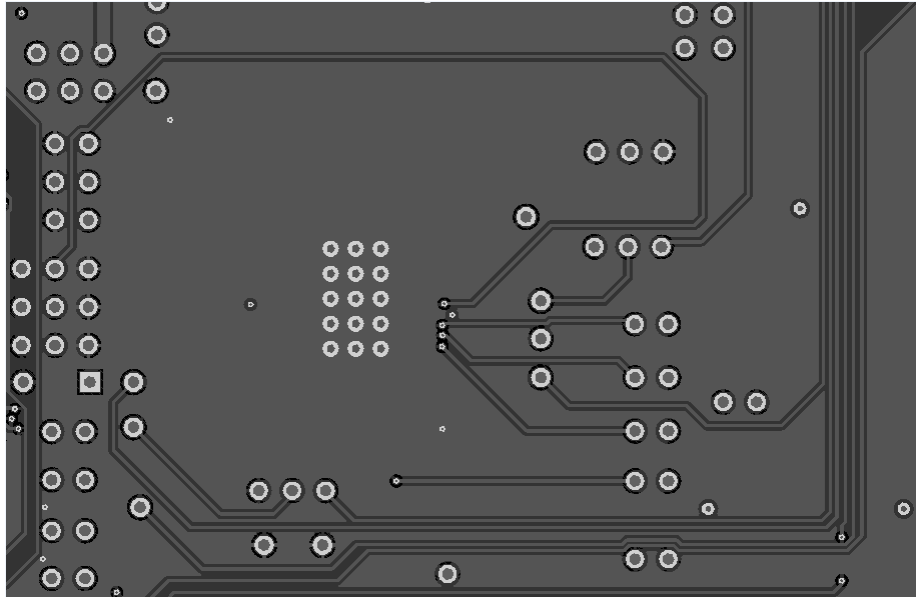
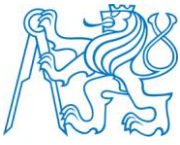


Technická zpráva je závazná pouze pro účely uvedené v zadání a není závazná pro účely ostatní.

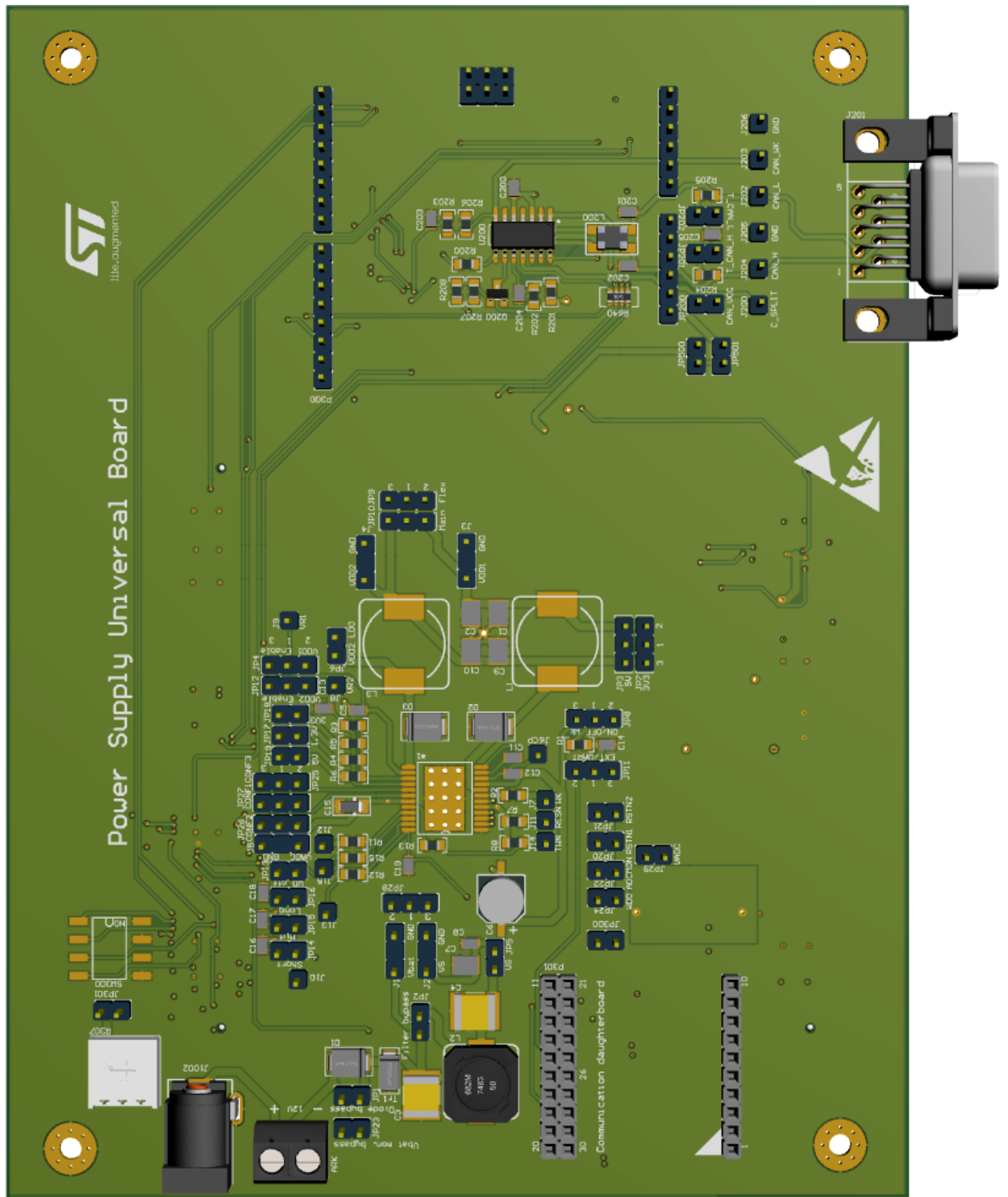
Top connection between all sheets

Verze:	A1	Author:	Flavio Cernek	Revize:	*
Date:	13.12.2013	Time:	10:20:13	Sheet:	1 of 3
Doc. Reference:	DocRef	Project:	1022-00000	Company:	*

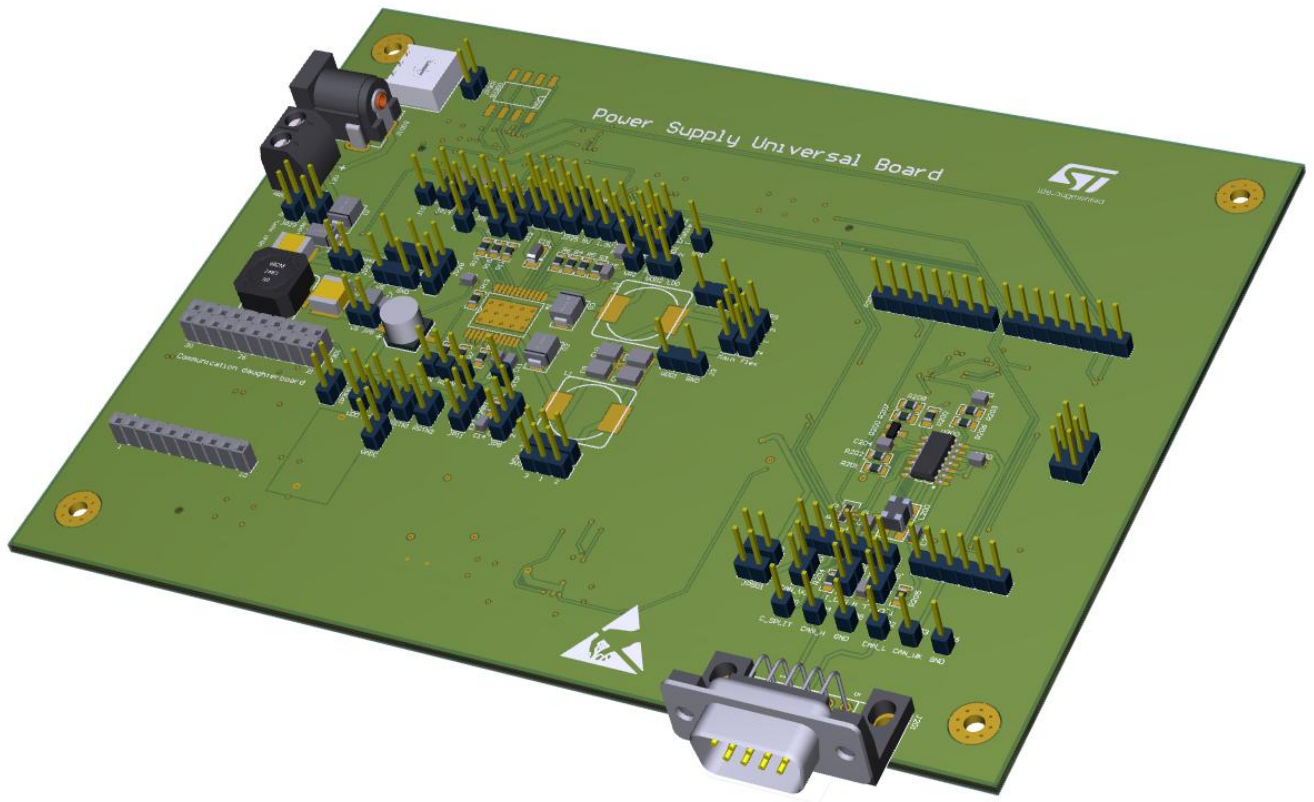
Obrázek 31 Schéma propojení jednotlivých schémat



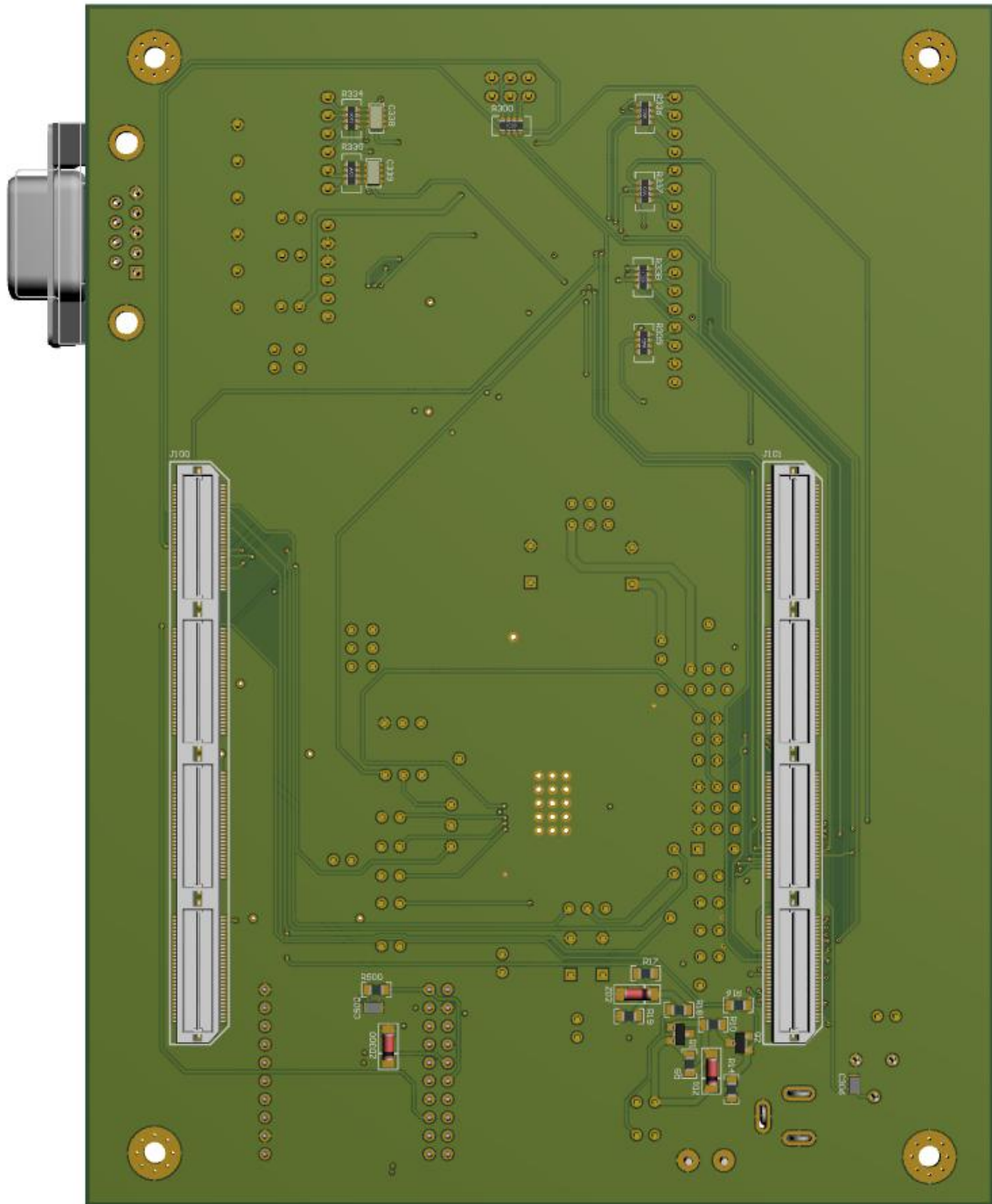
Obrázek 32 Detail na layout L9001 a vymezení spodní části pro chlazení



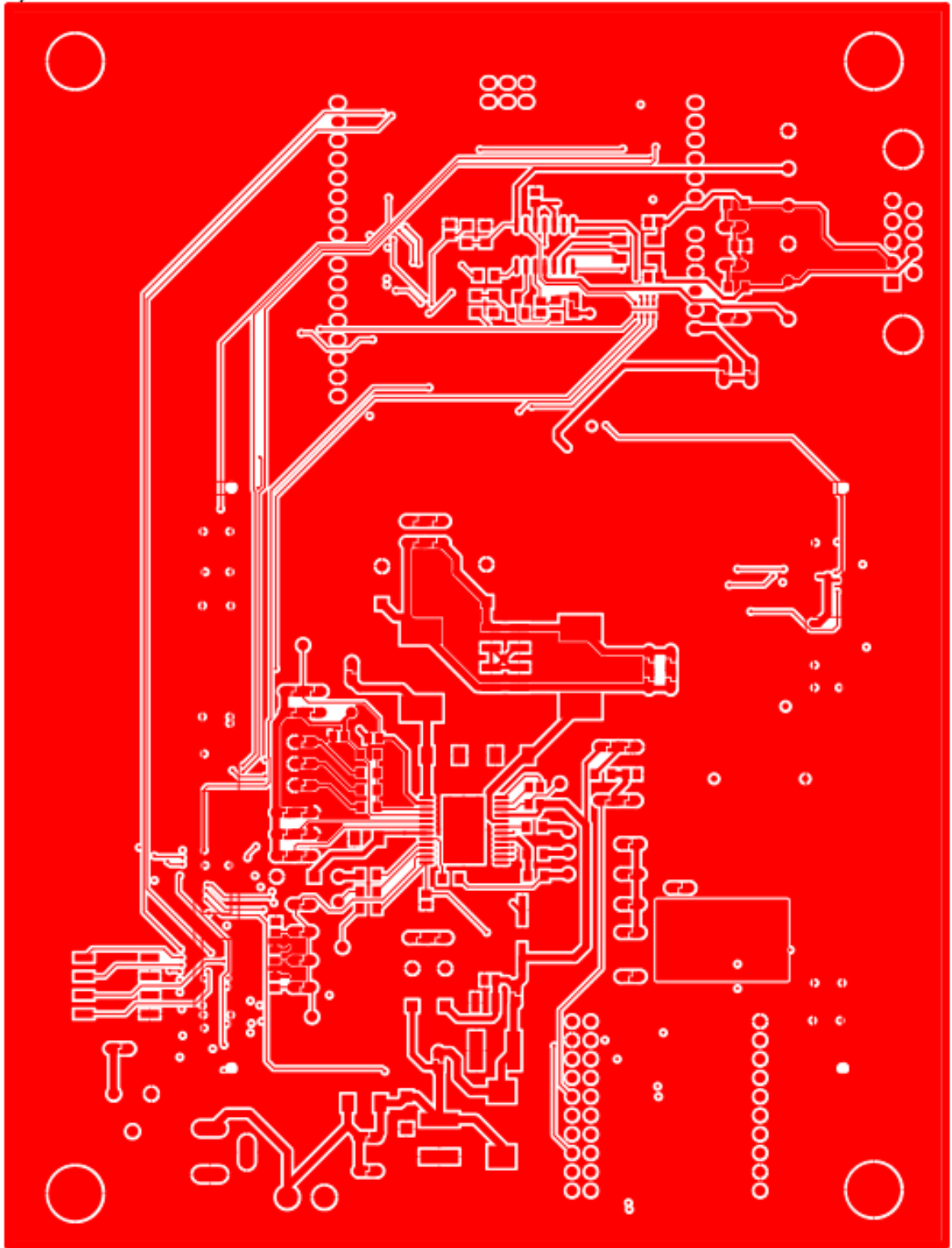
Obrázek 33 Horní strana desky



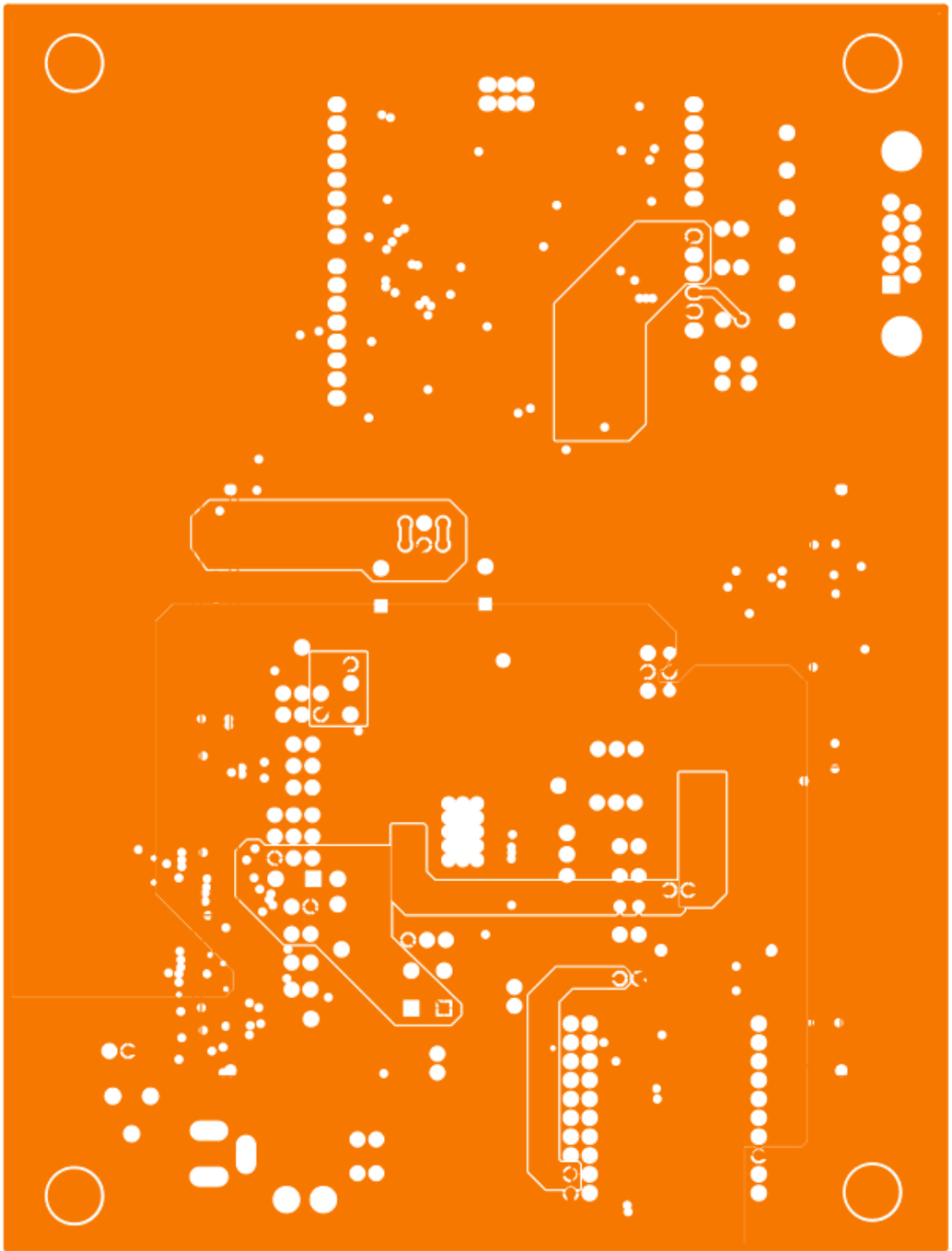
Obrázek 34 Pohled pod úhlem



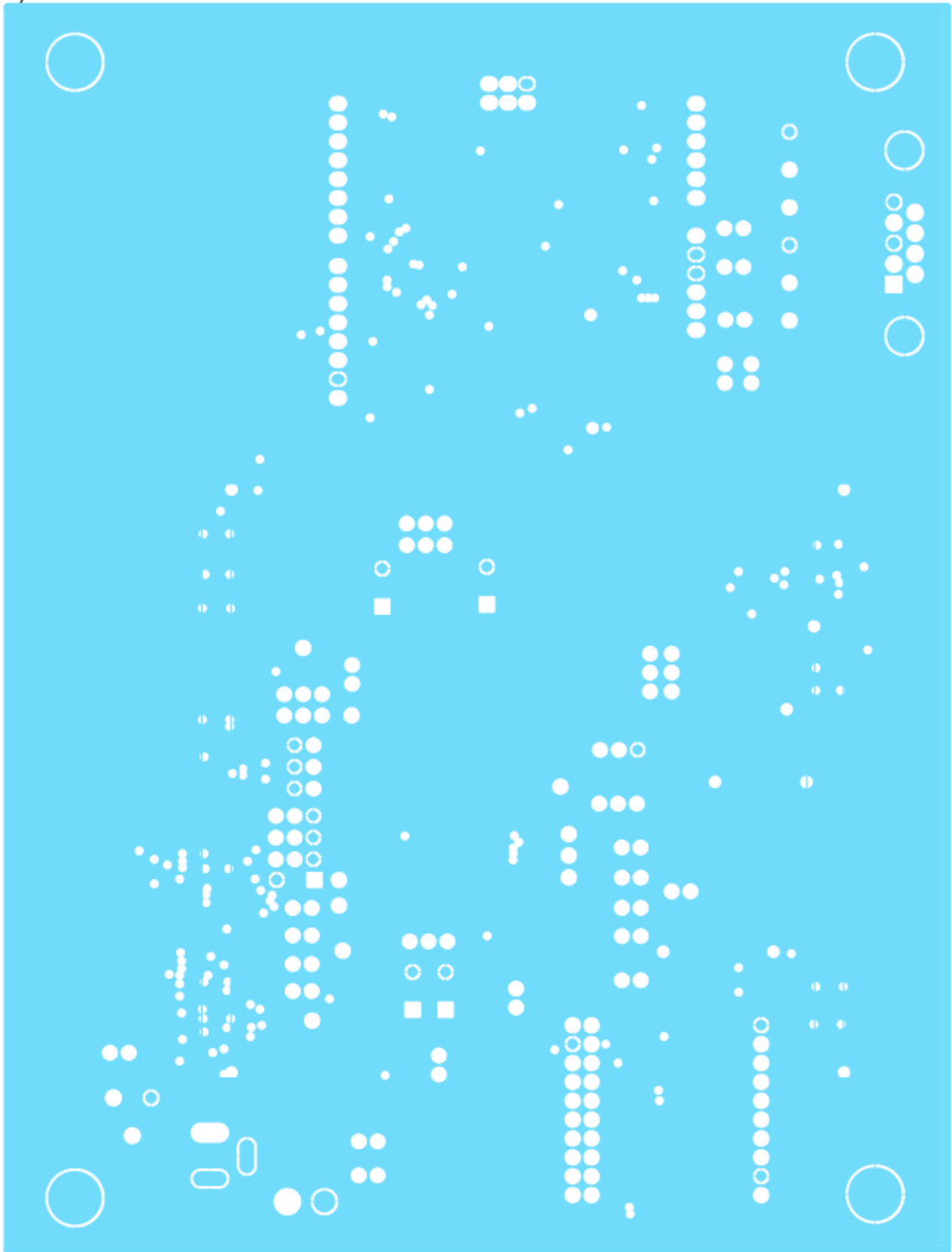
Obrázek 35 Spodní strana desky



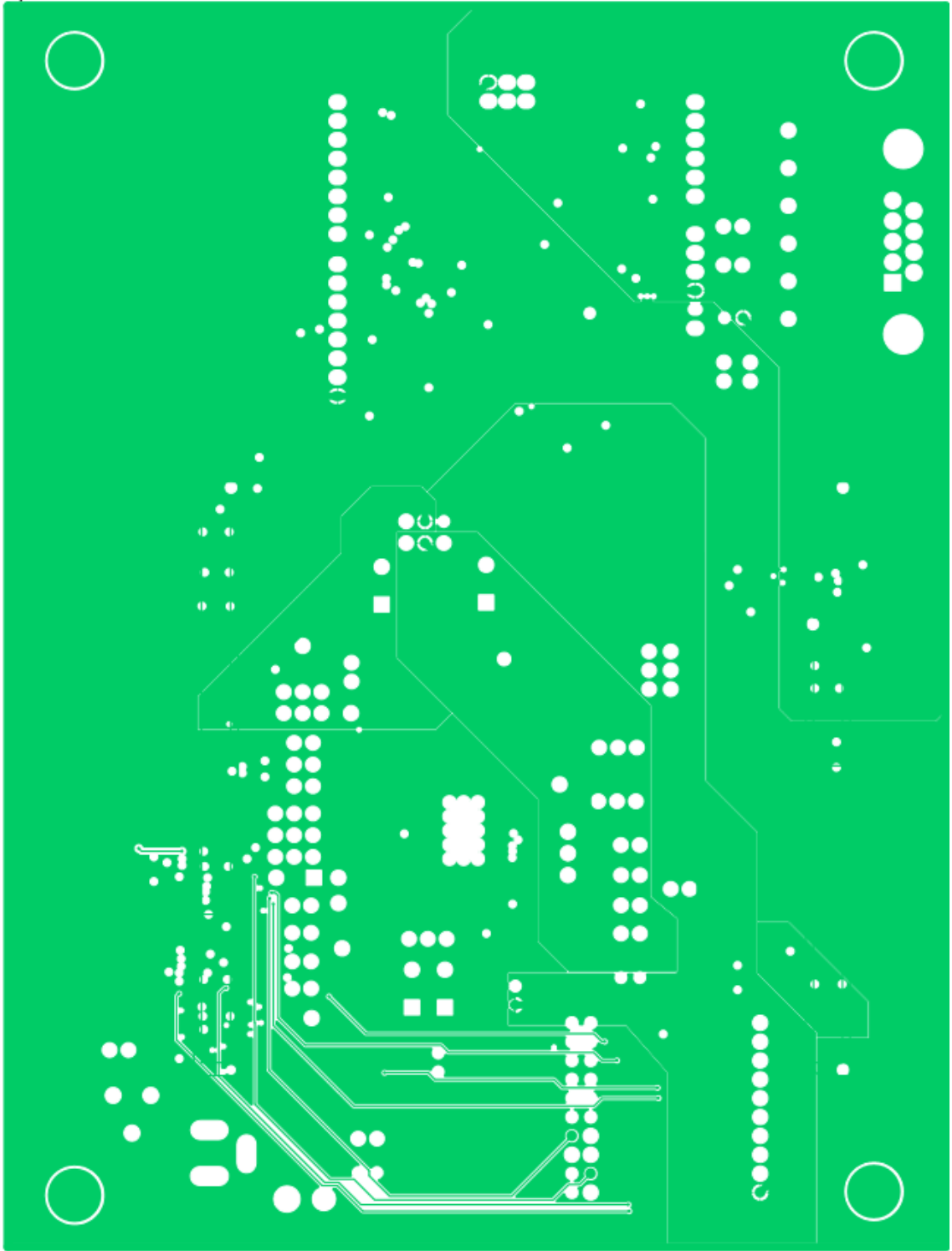
Obrázek 36 Layout horní vrstvy



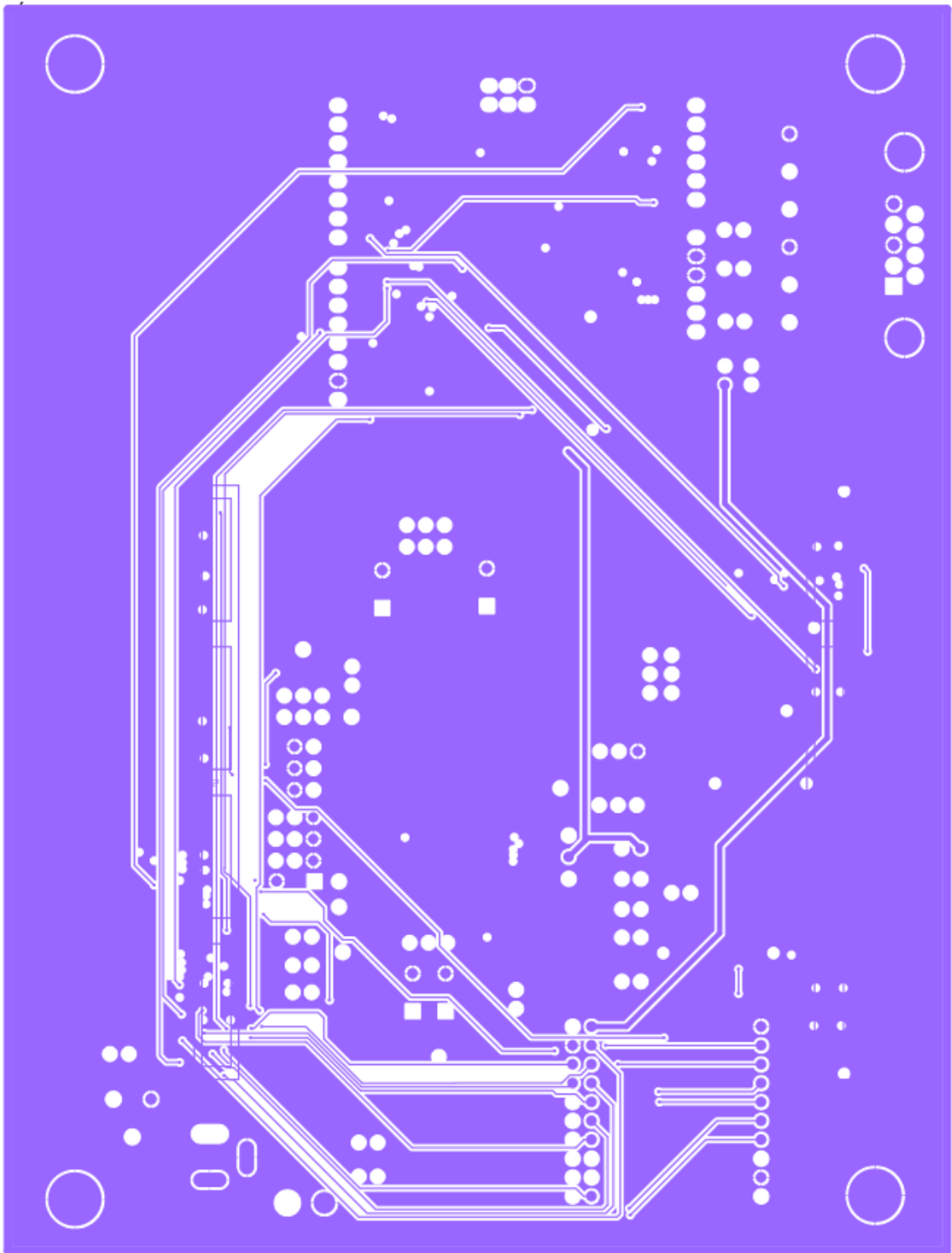
Obrázek 37 Layout vrstvy 2



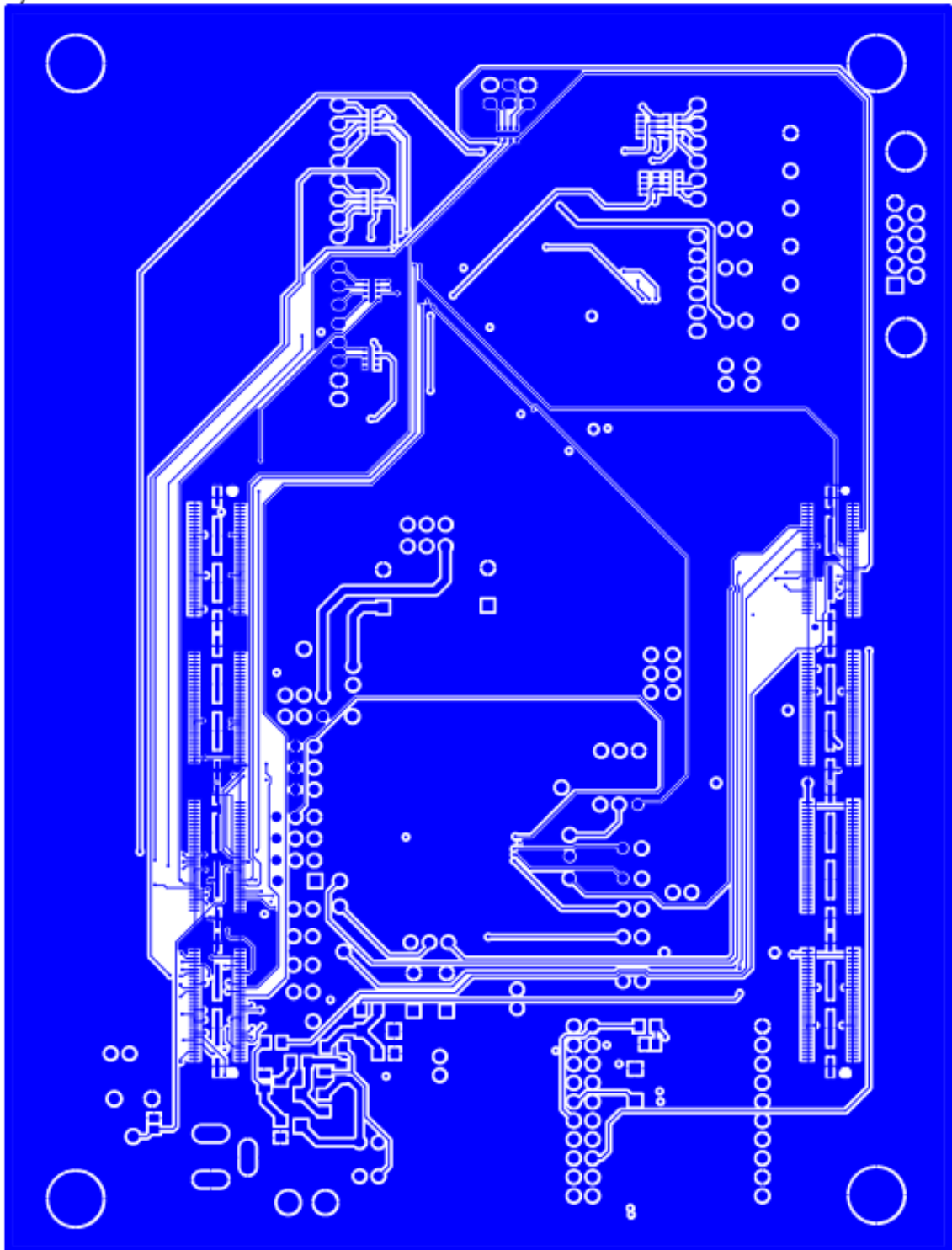
Obrázek 38 Layout vrstvy 3



Obrázek 39 Layout vrstvy 4



Obrázek 40 Layout vrstvy 5



Obrázek 41 Layout spodní vrstvy