

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Miloš Kejzlar

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

PWM generátor pro autodiagnostiku

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Miloš Kejzlar**  
Osobní číslo: **D18361**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**  
Téma práce: **PWM generátor pro autodiagnostiku**  
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

### Zásady pro vypracování

Rozšiřte funkce stávajícího signálního generátoru o výkonový PWM výstup pro spínání vybraných akčních členů v automobilu za účelem jejich diagnostiky. Vytvořte nový program do mikrokontroléru pro ovládání celého zařízení.

Doporučený postup:

1. Seznamte se se stávajícím signálním generátorem.
2. Rozšiřte hardware stávajícího signálního generátoru o výkonový PWM výstup.
3. Vytvořte program pro mikrokontrolér, funkce programu:
  - Generování signálu (emulace) snímače klikové a vačkové hřídele a snímače rychlosti. Možnost výběru z více signálových vzorů.
  - Ovládání výkonového PWM výstupu – zadání střídy a frekvence a také doby sepnutí a periody spínání.
  - Vytvořte přehledné menu pro ovládání zařízení.
4. Ověřte funkci zařízení v laboratoři a na vozidle, pokud to bude možné.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

#### Seznam doporučené literatury:

1. Podklady k předmětům *Elektrická a elektronická zařízení v konstrukci silničních vozidel, Diagnostika silničních vozidel, Mikroprocesorová řídicí technika.*
2. GREGORA, Stanislav a Zdeněk MAŠEK. *Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel.* Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008. ISBN 9788073950828.
3. GSCHIEDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika.* 2015. ISBN 9783808521632.
4. VLK, František. *Automobilová elektronika 3: Systémy řízení motoru a převodů.* Brno: František Vlk, 2006, vi, 269 s. ISBN 8023970631.
5. HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C. 4., přeprac. vyd.* České Budějovice: Kopp, 2004, 271, viii s. ISBN 8072322206.
6. Podklady poskytnuté vedoucím práce.
7. Datasheety výrobců komponent.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Zdeněk Mašek, Ph.D.**

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce:

**25. listopadu 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**17. května 2021**

L.S.

---

**doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Dušan Čermák, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 8. března 2021

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval(a) samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil(a), jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 16.5.2022

Miloš Kejzlar v.r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Předně bych úvodem této práce chtěl poděkovat svému vedoucímu panu Ing. Zdeňku Maškovi, PhD. za nedocenitelné rady, konzultace a velice profesionální vedení.

V neposlední řadě velký dík patří mé manželce Kateřině za trpělivost a obrovskou podporu po celou dobu studia a hlavně při tvorbě této práce.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská se zabývá rozšířením signálového generátoru, poskytnutého vedoucím práce o nové funkce, jako je emulace signálu ze snímače polohy vačkové hřídele a výkonový výstup ovládaný PWM signálem pro spínání akčních členů vozidla.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Klíčová hřídel, vačková hřídel, PWM

## **TITLE**

PWM generator for automobile diagnostics

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis is about implementing new functions to a signal generator device provided by a thesis leader, such as camshaft position sensor signal emulation and power-switching output driven by PWM signal for controlling various actuators

## **OBSAH:**

PODĚKOVÁNÍ .....	6
ANOTACE .....	7
SEZNAM POUŽITÝCH ILUSTRACÍ A TABULEK.....	11
ÚVOD.....	13
1. Stávající signálový generátor.....	14
1.1. Stručný popis .....	14
1.2. Funkce.....	16
1.3. Řídící mikrokontroler .....	16
1.3.1. Základní vlastnosti mikrokontroleru.....	17
1.4. Ovládání.....	17
1.5. Vstupy / Výstupy .....	18
1.6. Napájení.....	19
1.7. Hardware.....	19
1.8. Signálové výstupy.....	20
2. Snímače polohy klikových a vačkových hřídelí.....	21
2.1. Induktivní snímače.....	22
2.1.1. Konstrukce snímače.....	22
2.1.2. Princip fungování.....	23
2.2. Magnetostatické (Hallový) snímače .....	25
2.2.1. Konstrukce snímače.....	25
2.2.2. Princip fungování.....	26
3. Ovládání akčních členů vozidla.....	28
3.1. Vlastní indukce .....	28
3.1.1. Simulace spínacího obvodu .....	29
3.2. Pulzně šířková regulace - PWM .....	31
4. Rozšíření stávajícího zařízení o nové funkce .....	32
4.1. Zadání vedoucího práce .....	32
4.2. Podrobný popis zadání nových funkcí.....	33
4.2.1. Signál ze snímače polohy klikové hřídele .....	33



4.2.2.	Signál ze snímače rychlosti.....	33
4.2.3.	Signál ze snímače polohy vačkové hřídele.....	33
4.2.4.	PWM generátor se dvěma výstupy.....	34
4.2.4.1.	Výkonový výstup typu otevřený kolektor.....	34
4.2.4.2.	Signálový výstup 5 V / 12 V.....	34
4.2.4.3.	Ovládání PWM generátoru.....	34
4.3.	Návrh napájení.....	35
4.3.1.	Napájení ze souosého napájecího konektoru.....	36
4.3.2.	Napájení z konektoru STZL.....	37
4.3.3.	Napájení z 4 mm zdířek pro banánky.....	37
4.3.4.	Přívod napájení do MCU.....	39
4.3.5.	Hlavní vypínač.....	40
4.4.	Návrh obvodu pro emulaci signálu ze snímače rychlosti.....	41
4.5.	Návrh obvodu pro emulaci signálu ze snímače polohy vačkové hřídele.....	43
4.6.	PWM generátor.....	44
4.6.1.	Silový výstup PWM generátoru.....	44
4.6.2.	Signálový výstup z PWM generátoru.....	45
4.7.	Analogový výstup z DA převodníku.....	47
4.8.	Firmware.....	48
4.8.1.	PWM generator.....	48
4.8.2.	CKPS a CMPS a signál rychlosti.....	49
4.9.	Výpočet oteplení součástek.....	50
4.9.1.	Oteplení diody D1.....	50
4.9.2.	Oteplení spínacího tranzistoru Q8.....	50
4.9.2.1.	Ztráty propustným proudem.....	51
4.9.2.2.	Ztráty spínací.....	51
4.9.2.3.	Ztráty rozpínací.....	51
4.9.2.4.	Ztráty buzením řídicí elektrody.....	51
4.9.3.	Oteplení lineárního regulátoru 7809.....	52
5.	Ověření funkce nového zařízení.....	52
5.1.	Signály CKPS, CMPS a signál rychlosti.....	52
5.2.	Signálový výstup z PWM generátoru.....	53
5.3.	Silový výstup.....	53

ZÁVĚR.....	55
Citovaná literatura.....	56
PŘÍLOHY .....	57

## SEZNAM POUŽITÝCH ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Signální kotouč 36 - 2 na klikové hřídeli .....	14
Obrázek 2: Instalační krabička - zleva: celkový pohled, bokorys, půdorys [2].....	14
Obrázek 3: Stávající generátor - vrchní stěna .....	15
Obrázek 4: Stávající generátor - přední stěna .....	15
Obrázek 5: Mikrokontroler Arduino Mega 2560.....	16
Obrázek 6: Stávající generátor - vrchní stěna .....	17
Obrázek 7: Desky plošných spojů použité ve stávajícím zařízení a jejich umístění .....	19
Obrázek 8: Stávající generátor, odkrytovaný .....	20
Obrázek 9: Oscilogramy jednotlivých signálů stávajícího generátoru - 200 otáček za minutu	20
Obrázek 10: Oscilogramy jednotlivých signálů stávajícího generátoru - 10000 otáček za minutu .....	21
Obrázek 11: Oscilogramy jednotlivých signálů stávajícího generátoru - 1000 otáček za minutu .....	21
Obrázek 12: Vyobrazení signálního kotouče se snímačem .....	22
Obrázek 13: Blokové schéma řídicí jednotky spalovacího motoru [3] .....	22
Obrázek 14: Konstrukce induktivního snímače otáček s popisem [6].....	23
Obrázek 15: Signál z induktivního snímače otáček s popisem [6].....	24
Obrázek 16: Ilustrační obrázek principu fungování Hallova snímače [4] .....	25
Obrázek 17: Typické umístění Hallova snímače ve vozidle.....	26
Obrázek 18: Ilustrační schéma Hallova jevu [5] .....	27
Obrázek 19: Vyobrazení vnitřního uspořádání Hallova snímače a jeho výstupního signálu [1] .....	27
Obrázek 20: Schéma simulačního obvodu LTSpice.....	29
Obrázek 21: Simulace obvodu bez nulové diody .....	30
Obrázek 22: Simulace obvodu s nulovou diodou .....	30
Obrázek 23: Schéma jednoduchého obvodu pro simulaci.....	31
Obrázek 24: Virtuální obvod pro simulaci v softwaru LTSpice.....	31
Obrázek 25: Průběhy indukovaného napětí na indukčnosti a proudu cívkou.....	31
Obrázek 26: Bližší pohled na napěťovou špičku při rozepnutí spínače .....	31
Obrázek 27: Průběhy napětí a proudu při použití nulové diody .....	31
Obrázek 28: Blokové schéma napájení nového zařízení .....	35
Obrázek 29: Souosý napájecí konektor DS026-B [7].....	36

Obrázek 30: Schéma přívodu napájení ze sousého konektoru a konektoru STLZ.....	36
Obrázek 31: konektor STLZ950/3G [8] .....	37
Obrázek 32: Schéma přívodu napájení ze 4 mm zdířek pro banánky .....	38
Obrázek 33: Boční stěna zařízení s vyvedenými zdířkami a napájecím konektorem .....	38
Obrázek 34: Úprava mikrokontroleru Arduino Mega 2560 pro přívod napájení a hlavní vypínač.....	39
Obrázek 35: Lineární regulátor 7809.....	40
Obrázek 36: Schéma zapojení hlavního vypínače napájení.....	40
Obrázek 37: Provedení hlavního vypínače napájení.....	41
Obrázek 38: Schéma obvodu pro emulování signálu ze snímače rychlosti vozidla.....	42
Obrázek 39: Schéma obvodu pro emulování signálu ze snímače polohy vačkové hřídele .....	43
Obrázek 40: Schéma zapojení silového výstupu PWM generátoru.....	44
Obrázek 41: Schéma návrhu volby napájení budiče FAN3100TSX .....	46
Obrázek 42: Schéma obvodu DA převodníku .....	47
Obrázek 43: Jednoduché blokové schéma firmwaru .....	48
Obrázek 44: Výstupní signály z nového zařízení při nastavení otáček motoru 200 1/min .....	52
Obrázek 45: Signálový výstup z PWM generátoru - nastavená frekvence 1 kHz a střída 10% .....	53
Obrázek 46: Spínání EGR ventilu - nastavení periody spínání 30ms a délky sepnutí 10 ms - s nulovou diodou .....	53
Obrázek 47: Spínání EGR ventilu, nastavení periody spínání 30 ms a délky sepnutí 10ms - bez nulové diody .....	54
Tabulka 1: Základní vlastnosti mikrokontroleru Arduino Mega 2560	17
Tabulka 2: Stručný přehled stávajících a nových funkcí signálového generátoru .....	32

## ÚVOD

Tato práce spočívá v rozšíření stávajícího signálního generátoru, poskytnutého vedoucím této práce o:

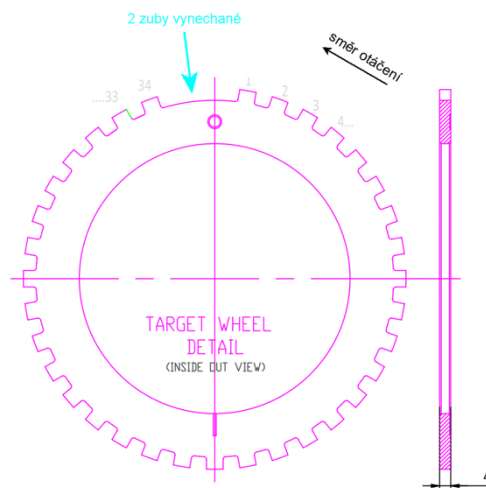
- výkonový PWM výstup pro spínání vybraných akčních členů v automobilu za účelem jejich diagnostiky
- signálový 5 V / 12 V výstup pro simulaci snímačů s frekvenčním výstupem nebo spínání zapalovacích cívek s integrovaným koncovým stupněm
- dvoukanálový DA převodník pro možnost simulovat signály z proporcionálních senzorů
- možnost emulovat signál ze snímače vačkové hřídele.

Jedním ze stěžejních úkolů je vyjít ze stávající filozofie, navrhnout a implementovat hardware potřebný pro výše zmíněné zadané funkce, navrhnout nové a případně pozměnit stávající desky plošných spojů, osadit je a vytvořit obslužný software dle detailního zadání vedoucího BP.

# 1. Stávající signálový generátor

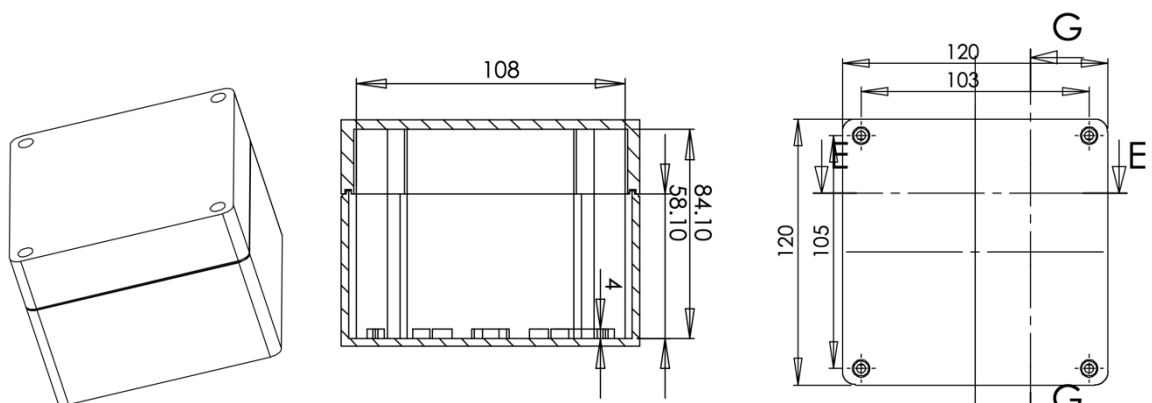
## 1.1. Stručný popis

Současné zařízení se používá jako náhrada signálů z indukčního snímače polohy klikové hřídele spalovacího motoru a Hallova snímače rychlosti motocyklu při vývojových pracích v rámci spolupráce vedoucího BP s firmou Jawa Moto. Na zkušebním panelu osazeném veškerými komponenty řízení běhu motoru je toto zařízení používáno pro zavedení signálů o poloze klikové hřídele a rychlosti a odpadá tak potřeba indukčních snímačů, samotného signálního kola a v neposlední řadě i hlučného elektromotoru, který by jinak byl zapotřebí pro jeho pohon.



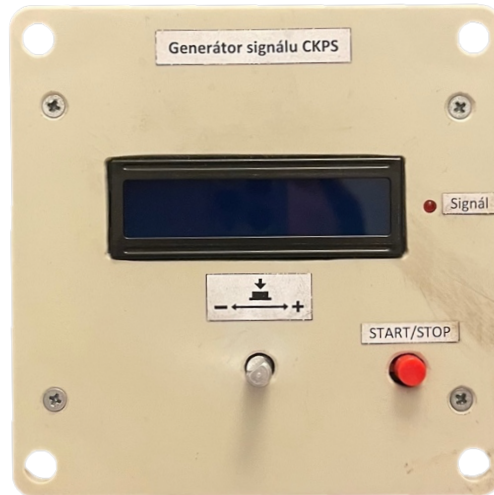
Obrázek 1: Signální kotouč 36 - 2 na klikové hřídeli

Celý hardware je uzavřen v plastové instalační krabici se stupněm krytí IP65 a rozměrech 120 x 120 x 90 cm.



Obrázek 2: Instalační krabice - zleva: celkový pohled, bokorys, půdorys [2]

Na vrchní straně víka jsou vyfrézovány otvory pro displej, osičku ovládacího rotačního enkodéru, tlačítko a červenou signální LED.



Obrázek 3: Stávající generátor - vrchní stěna

Na boční stěně pak pro hlavní vypínač napájení, napájecí souosý konektor, USB konektor a dva konektory STLZ. Jeden s emulovaným signálem ze snímače polohy klikové hřídele a druhý se signálem ze snímače rychlosti vozidla.



Obrázek 4: Stávající generátor - přední stěna

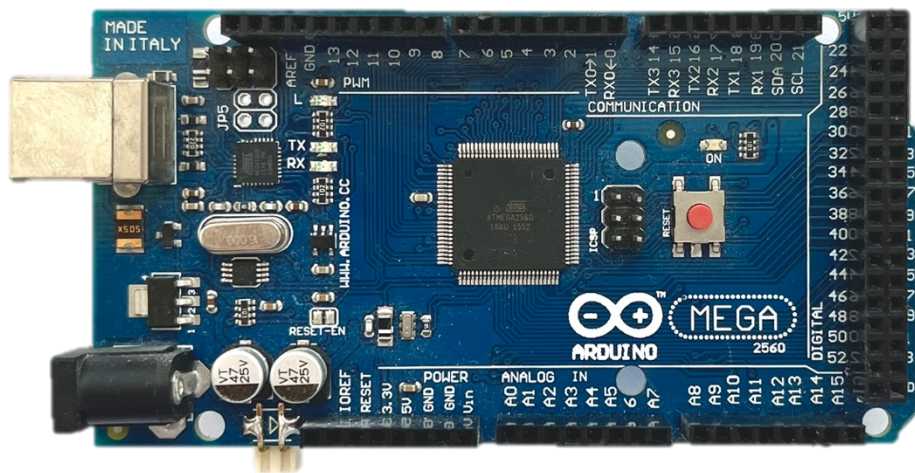
## 1.2. Funkce

Stávající signálový generátor emuluje signál z indukčního snímače polohy klikové hřídele spalovacího motoru motocyklu a signál z Hallova snímače rychlosti vozidla (přednastaveno na 6 pulzů na 1 otáčku kola). Uživatel si na zařízení nastaví požadované otáčky v rozsahu od 200 - 10000 1/min. Nastavování otáček je možné s volitelným krokem 10, 100 nebo 1000 1/min. Podle uživatelem nastavených požadovaných otáček zařízení nastaví potřebnou frekvenci generovaného signálu klikové hřídele a rychlosti.

Aktuálně zařízení obsahuje pouze jeden vzor signálního kotouče, a to 36 - 2 (36 zubů, 2 vynechané), jiný volit nelze.

## 1.3. Řídící mikrokontroler

Pro obsluhu uživatelského rozhraní, potřebné výpočty a nastavení a v neposlední řadě samotné generování výše zmíněných signálů, je stávající zařízení osazeno zařízením Arduino Mega 2560, což je mikrokontroler s čipem ATmega2560.



Obrázek 5: Mikrokontroler Arduino Mega 2560



### 1.3.1. Základní vlastnosti mikrokontroleru

<i>pracovní napětí</i>	<i>5V</i>
<i>doporučené napájecí napětí</i>	<i>7 - 12 V</i>
<i>limitní napájecí napětí</i>	<i>6 - 20 V</i>
<i>počet digitální vstupů / výstupů</i>	<i>54 (z nichž 15 umožňuje PWM)</i>
<i>počet proporcionálních vstupů</i>	<i>16</i>
<i>maximální proud jednoho vstupu / výstupu</i>	<i>20 mA</i>
<i>maximální proud pro 3.3 V vstupy / výstupy</i>	<i>50 mA</i>
<i>FLASH paměť</i>	<i>256 kB (z nichž 8 kB zabírá zavaděč)</i>
<i>SRAM</i>	<i>8 kB</i>
<i>EEPROM</i>	<i>4 kB</i>
<i>taktovací frekvence</i>	<i>16 MHz</i>

Tabulka 1: Základní vlastnosti mikrokontroleru Arduino Mega 2560

### 1.4. Ovládání



Obrázek 6: Stávající generátor - vrchní stěna

Uživatelské rozhraní stávajícího signálního generátoru sestává z 2řádkového, 16místného LCD, který zobrazuje uživatelem nastavované otáčky motoru a podle nastavených otáček i vypočtenou odpovídající rychlost vozidla.

Pod displejem se nachází ovládací kolečko mechanického inkrementálního enkodéru s vestavěným tlačítkem, pomocí kterého uživatel nastavuje požadované otáčky motoru. Jak již bylo zmíněno, rychlost je pevně spjatá s nastavenými otáčkami a podle nastavených otáček vypočtena, uživatel ji tedy nenastavuje.

V pravé spodní části ovládacího prostoru se nachází červený hmatník tlačítka "START/STOP", které spouští a zastavuje generování obou signálů.

Dále se na vrchní stěně, vpravo od displeje, nachází červená signalizační LED, která blikáním signalizuje spuštěné generování signálů.

Na vrchní DPS (viz kapitola 1.7), jsou navíc vyvedená místa pro další 2 LED a jedno tlačítko, kterých na stávajícím zařízení není použito.

Zařízení je rovněž vybaveno hlavním vypínačem v podobě páčkového přepínače, který je umístěný na přední stěně krabičky, spolu s konektory a výstupy, o nichž pojednává následující kapitola.

## **1.5. Vstupy / Výstupy**

Na přední stěně (viz Obrázek 4) se krom hlavního vypínače napájení nachází:

- 3pinový STLZ konektor se dvěma digitálními 5 V výstupy (1x neinvertovaný, 1x invertovaný) pro emulování signálu z indukčního snímače polohy klikové hřídele spalovacího motoru (zleva: GND, digitální výstup P1B1, digitální výstup P1A1)
- 3 pinový STLZ konektor s výstupem typu otevřený kolektor, jištěný vratnou pojistkou jmenovitého proudu 50 mA, sloužící pro emulování signálu z Hallova snímače rychlosti vozidla, zbylé vodiče slouží pro přívod napájení (zleva: GND, výstup typu otevřený kolektor ovládaný z P2D1, vstup napájení 12 V)
- souosý konektor pro přivedení napájení, který je součástí desky řídicího mikrokontroleru (blíže o konstrukci, návrhu zařízení a použitých DPS pojednává kapitola 1.7)
- konektor USB - B pro připojení řídicího mikrokontroleru k PC. Zařízení není ovládáno počítačem, připojení k počítači se používá jen pro nahrání firmwaru, pro případné odesílání a přijímání ladících hlášek, nebo lze připojením k počítači do zařízení přivést i napájení, o kterém podrobněji pojednává další kapitola.

## 1.6. Napájení

Současné zařízení je možné napájet 3 způsoby:

- Pomocí STLZ konektoru se signálem rychlosti a to napětím v rozsahu 7,5 - 15 V. Důvodem je jednoduché a rychlé připojení do konektoru snímače rychlosti vozidla, do kterého je již palubní napájení 12 V zavedeno.
- Pomocí sousého napájecího konektoru mikrokontroleru Arduino Mega 2560 a to napětím v rozsahu 7,5 - 9 V.

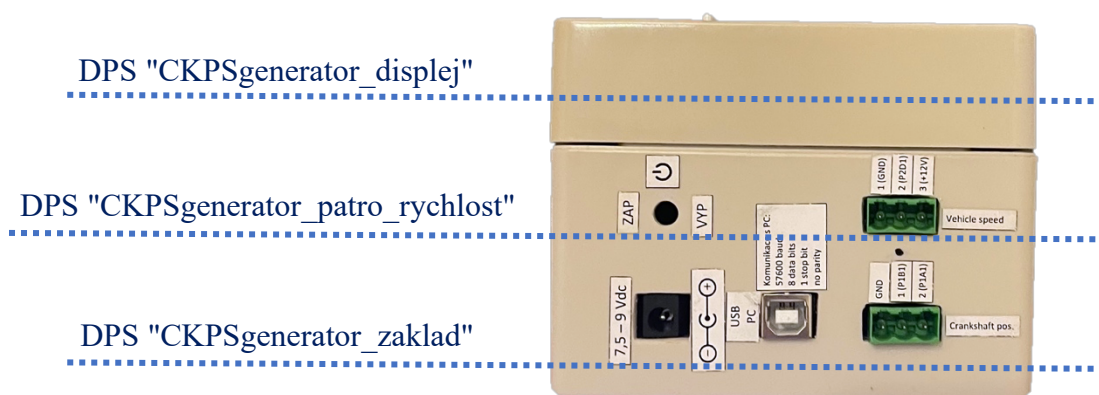
Výše dva uvedené způsoby napájení lze použít současně, v samotném zařízení jsou tyto dva napájecí vstupy sloučeny pomocí diod, zkrat napájecích zdrojů zapříčiněný jejich rozdílným napětím tedy nehrozí.

- Třetím způsobem, jak lze generátor napájet je připojením PC pomocí USB - B konektoru.

## 1.7. Hardware

V této kapitole a jejích následujících podkapitolách se popisuje použitý hardware a jeho vnitřní uspořádání a propojení. Část hardware, konkrétně zařízení uživatelského rozhraní, LCD displej, mechanický inkrementální enkodér, tlačítko START / STOP a hlavní vypínač, byla popsána v kapitole 1.4. Ovládání, dále se tedy popíše podrobněji 3 desky plošných spojů, které se v zařízení nachází, jejich účel, princip fungování a vzájemné propojení.

Stávající zařízení obsahuje následující desky plošných spojů (názvy desek a k nim příslušejících schémat v této práci se volí stejné, jako jsou názvy příslušných souborů ze softwaru Eagle, ve kterém byly navrženy vedoucím této práce):



Obrázek 7: Desky plošných spojů použité ve stávajícím zařízení a jejich umístění

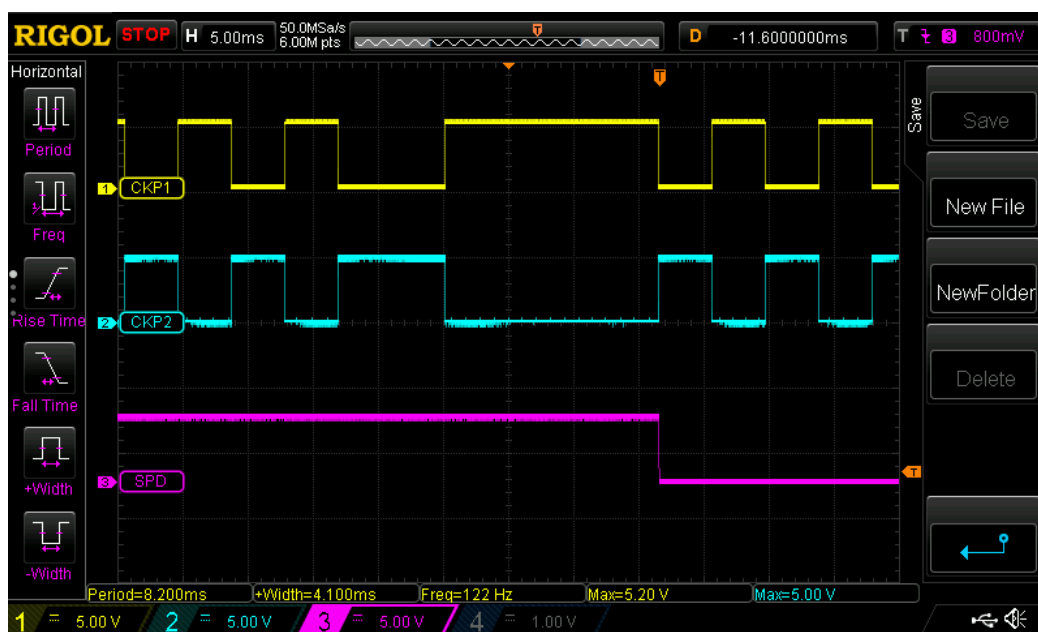
Podrobněji je vnitřní uspořádání a propojení desek vidět na Obrázek 8.



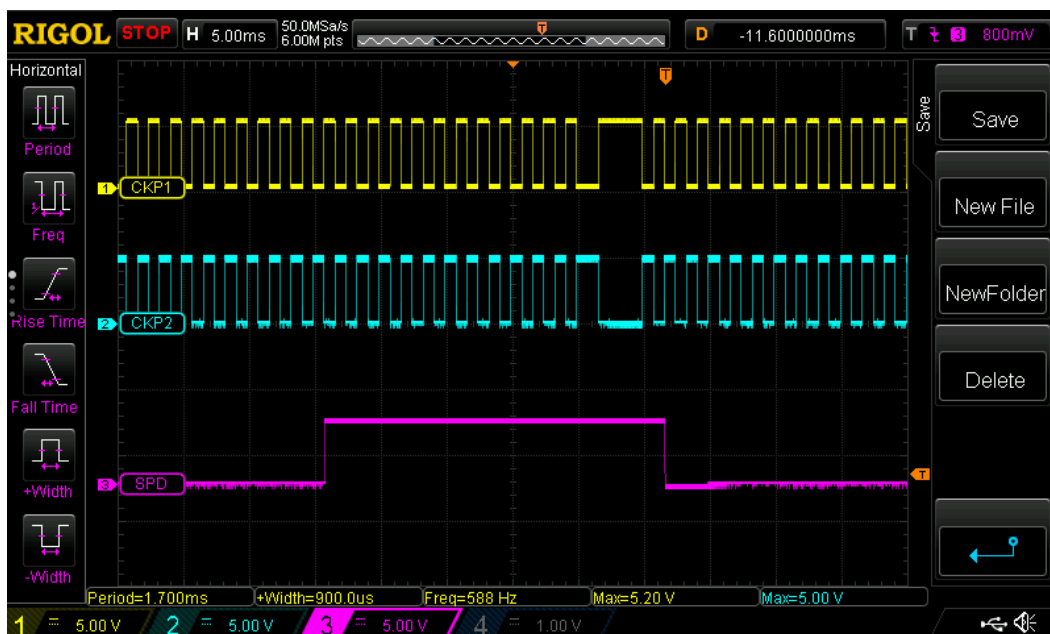
Obrázek 8: Stávající generátor, odkrytovaný

## 1.8. Signálové výstupy

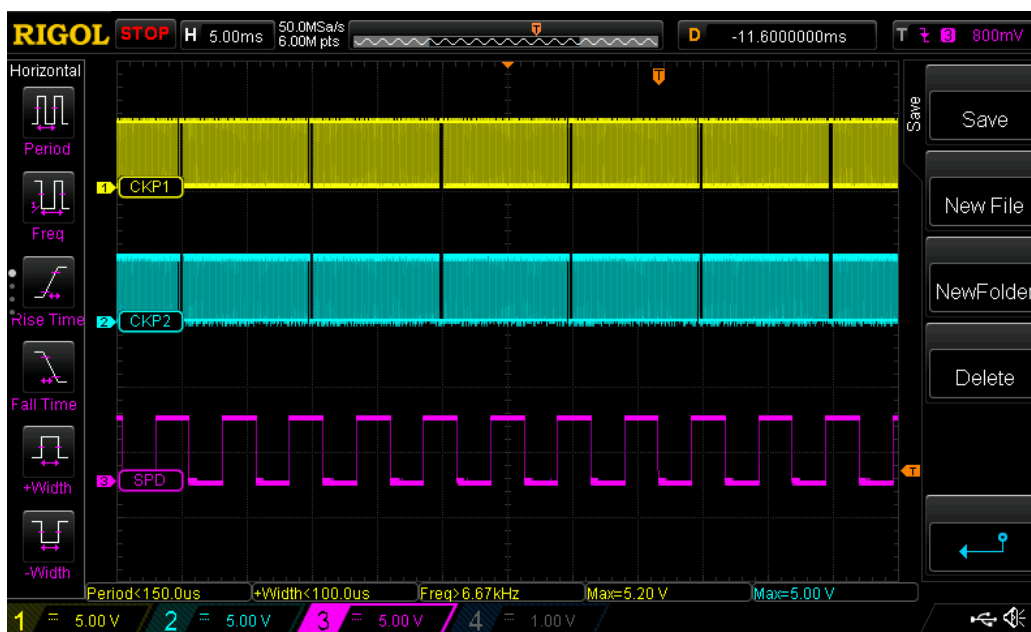
Jak již bylo podrobněji popsáno v kapitole 1.5, ze stávajícího generátoru jsou vyvedeny celkem 3 výstupy. Dva navzájem invertované signály, emulující signál ze snímače klikové hřídele a jeden signál typu otevřený kolektor z Hallova snímače rychlosti vozidla. Jednotlivé piny příslušných konektorů byly připojeny k osciloskopu a zobrazené průběhy při různé nastavených otáčkách jsou na Obrázcích 9 - 11 (signál ze snímače klikové hřídele na kanálech A a B, signál ze snímače rychlosti vozidla na kanálu C).



Obrázek 9: Oscilogramy jednotlivých signálů stávajícího generátoru - 200 otáček za minutu



Obrázek 11: Oscilogramy jednotlivých signálů stávajícího generátoru - 1000 otáček za minutu

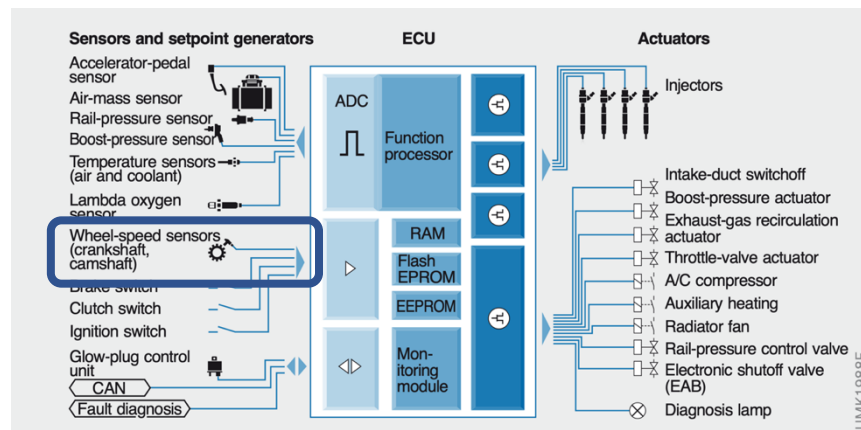


Obrázek 10: Oscilogramy jednotlivých signálů stávajícího generátoru - 10000 otáček za minutu

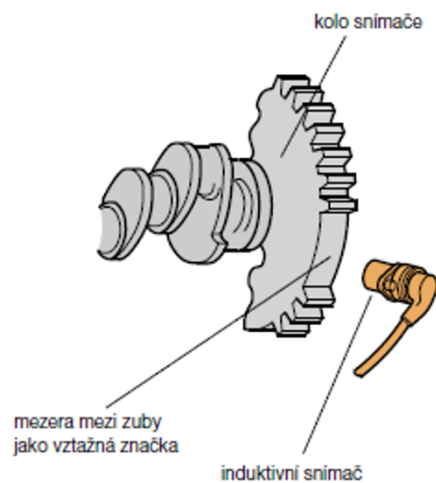
## 2. Snímače polohy klikových a vačkových hřídelí

Snímače polohy klikových a vačkových hřídelí představují nedílné součásti celého řetězce řízení běhu spalovacího motoru. Poskytují řídicí jednotce spalovacího motoru informace nejen o otáčkách motoru, ale díky vztažným značkám na signálních kotoučích i absolutní poloze klikové a vačkové hřídele. Řídicí jednotka motoru na základě informací z těchto snímačů rozpočítává válce, určuje pořadí zapalování a vstřikování paliva a vhodně je časuje, ve spolupráci s detonačním snímačem redukuje klepání motoru aj.

Klikové a vačkové hřídele jsou pro účely snímání počtu otáček a absolutní polohy osazeny ozubeným signálním kotoučem, na kterém jsou tzv. vztažné značky (provedené zpravidla vynecháním 2 zubů). V těsné blízkosti tohoto kotouče, je s minimální vzduchovou mezerou namontován snímač.



Obrázek 13: Blokové schéma řídicí jednotky spalovacího motoru (8)

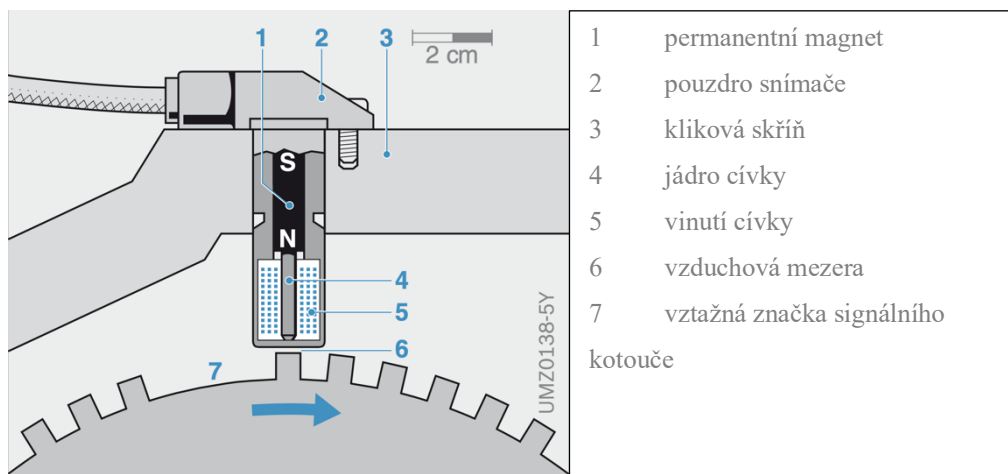


Obrázek 12: Vyobrazení signálního kotouče se snímačem

## 2.1. Induktivní snímače

### 2.1.1. Konstrukce snímače

V plastovém válcovém pouzdru induktivního snímače se nachází tyčový permanentní magnet, na který je v podélné ose napojeno tyčové jádro z magneticky měkkého materiálu. Kolem tohoto jádra je vinutí cívky, jejíž konce jsou vyvedeny pomocí výstupních vodičů do konektoru. Snímač je namontován přímo proti rotujícímu signálovému kotouči příslušné hřídele.



Obrázek 14: Konstrukce indukčního snímače otáček s popisem [6]

### 2.1.2. Princip fungování

Indukční snímače otáček pracují na principu časově proměnlivého magnetického toku, který vyvolají zuby a mezery rotujícího signálního kotouče. Tato časová změna magnetického toku cívkou snímače vyvolá indukci napětí na cívce dle rovnice (1),

$$u_i = N \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

kde  $u_i$  [V] je indukované napětí,  $\omega$  je počet závitů vinutí snímače a  $\phi$  [Wb] je magnetický tok.

Magnetický tok  $\phi$  navíc závisí na okamžité poloze signálního kotouče vůči čelní straně snímače (nachází-li se před čelní stranou snímače zub, či mezera) a na velikosti vzduchové mezery mezi čelní stranou snímače a signálním kotoučem. Můžeme tedy říci, že magnetický tok  $\phi$  je funkcí těchto veličin a psát (2):

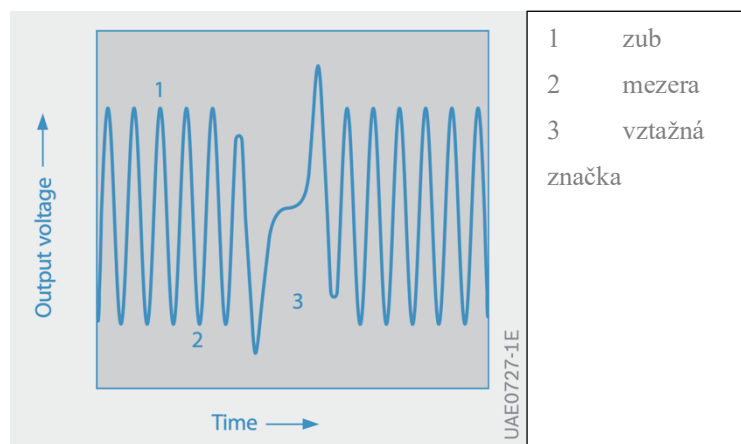
$$\phi = \phi(x, d_l) \quad (2)$$

kde  $x$  je okamžitá poloha signálního kotouče vůči čelní straně snímače a  $d_l$  je velikost vzduchové mezery, která je v našem případě konstantní. Z rovnic (1) a (2) pak vyplývá:

$$u_i = \omega \cdot \frac{d\phi}{dt} \cdot \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

kde  $\frac{dx}{dt}$  představuje počet otáček za čas, které snímačem měříme.

Pokud se před snímačem nachází mezer, magnetické siločáry permanentního magnetu se přes výrazně zvětšenou vzduchovou mezeru takřka neuzavírají a magnetický indukční tok je velmi nízký. V případě blížícího se zubu se výrazně zmenší vzduchová mezer a magnetické siločáry permanentního magnetu se začnou přes zub uzavírat, čímž dojde k výraznému navýšení magnetického indukčního toku cívku a tudíž k naindukování kladného napětí na jejích vývodech, které poté opět klesá a mění svou polaritu, když se zub pohybem signálního kotouče od snímače vzdaluje. Rotující signální kotouč tak svými zuby a mezerami ve snímači indukuje takřka sinusové napětí.



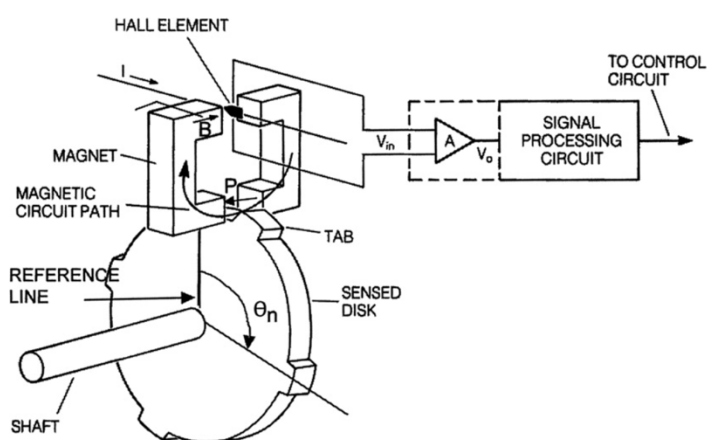
Obrázek 15: Signál z indukčního snímače otáček s popisem [6]



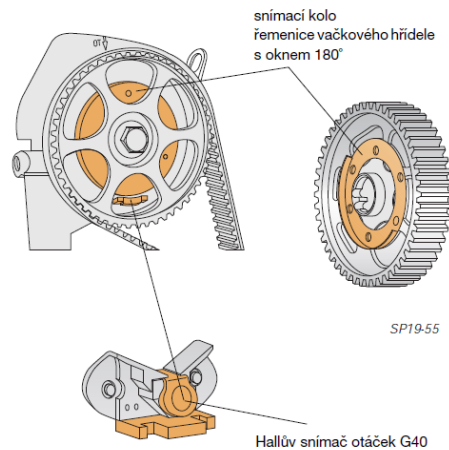
## 2.2. Magnetostatické (Hallový) snímače

### 2.2.1. Konstrukce snímače

Hallův snímač otáček je svou konstrukcí velice podobný snímači induktivnímu. Pro své správné fungování rovněž potřebuje ocelový signální kotouč se zuby a mezerami, taktéž vybavený vztažnou značkou. Ani Hallův snímač, stejně jako induktivní, se neobejde bez permanentního magnetu a vhodně navrženého magnetického obvodu. I tento typ snímače, stejně jako snímač induktivní, měří změny magnetického toku způsobené rozdílným uzavíráním magnetických siločar vlivem proměnlivé velikosti vzduchové mezery, kterou způsobí rotující signální kotouč se zuby a mezerami v těsné blízkosti aktivní strany snímače. Nicméně v případě Hallova snímače neprobíhá měření těchto změn magnetického toku na principu elektromagnetické indukce, ale tzv. Hallova jevu. Na rozdíl od induktivních snímačů, Hallový snímač pro svou funkci potřebují napájet a to zpravidla napětím 5 V, případně 12 V. Další nedílnou součástí těchto snímačů je interní obvod, který signál vytvaruje, aby mohl být zaveden do řídicí jednotky motoru vozidla.



Obrázek 16: Ilustrační obrázek principu fungování Hallova snímače [4]



Obrázek 17: Typické umístění Hallova snímače ve vozidle

## 2.2.2. Princip fungování

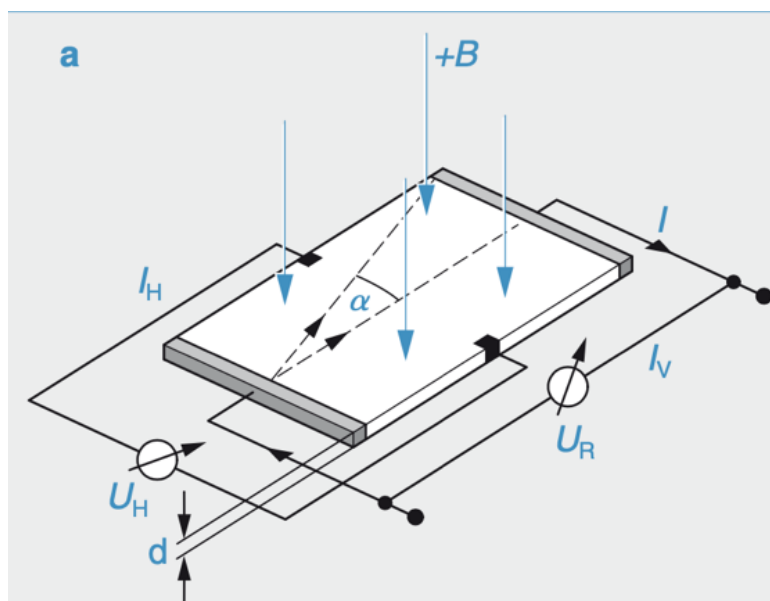
Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, tyto snímače sledují změny magnetického toku pomocí tzv. Hallova jevu.

Hallův jev se dá popsat na tenké destičce z polovodičového materiálu, protékané proudem. Umístíme-li takovou destičku do magnetického pole tak, aby vektor magnetické indukce  $\vec{B}$  směřoval kolmo k rovině destičky, dojde vlivem tohoto pole, působením tzv. Lorentzovy síly, k vychýlení volných nosičů náboje z jejich jinak přímé trasy.

Díky tomuto vychýlení se koncentrace nosičů náboje zvýší u jedné z hran této destičky, a to podle polaritě vnějšího magnetického pole. Pomocí elektrod umístěných na vzájemně opačné hrany destičky můžeme naměřit (na Obrázek 18 označeno jako  $U_H$ ). Toto napětí  $U_H$  je přímo úměrné velikosti magnetické indukce  $B$  a destičkou protékajícímu proudu  $I$ . Můžeme tedy psát:

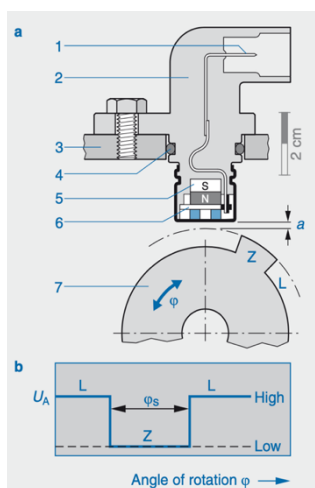
$$U_H = R_H \cdot I \cdot \frac{B}{d} \quad (4)$$

kde  $R_H$  je tzv. Hallův koeficient,  $I$  je proud protékající destičkou,  $B$  je magnetická indukce a  $d$  tloušťka destičky.



Obrázek 18: Ilustrační schéma Hallova jevu (8)

Induktivní snímače, popsané v kapitole 2.1., potřebují dostatečně velkou změnu magnetického toku v čase, aby byly schopné indukovat odpovídající napětí, jsou tedy schopné fungovat až při vyšších otáčkách, kdy je toho při rychlých změnách velikosti vzduchové mezery dosaženo. Oproti těm mají Hallovy snímače nespornou výhodu, a to že jsou schopny přesně a spolehlivě měřit prakticky již od nulových otáček. Jejich výstupní signál je obdélíkového průběhu, [1] a to pouze kladné polarity, obvykle v rozsahu 0 - 5 V (případně i 0 - 12 V).



Obrázek 19: Vyobrazení vnitřního uspořádání Hallova snímače a jeho výstupního

### 3. Ovládání akčních členů vozidla

Pro zajištění hladkého a hospodárného chodu spalovacího motoru se jeho řídicí jednotka neobejde nejen bez signálů z různých snímačů, z nichž ty, co jsou předmětem této práce byly popsány v předchozí kapitole, ale ani bez tzv. akčních členů, které řídicí jednotka vhodně ovládá a reguluje.

V zadání této práce je mimo jiné vytyčen úkol, rozšířit stávající generátor i o možnost takové akční členy ovládat, a to pomocí pulzně šířkové modulace, PWM. O teorii tohoto druhu silového spínání budou pojednávat další podkapitoly.

Z hlavních akčních členů vozidla se spalovacím motorem lze zmínit:

- elektrické palivové čerpadlo,
- zapalovací cívky
- vstřikovací ventily různých technologií (MPI, GDI)
- ventily regulace vysokého tlaku paliva u GDI a Common Rail
- elektronicky řízení škrtkící klapka
- vyhřívání lambda sond
- EGR ventil (recirkulace spalin)
- ventil nebo motorek pro regulaci tlaku turbodmychadla

a z pomocných akčních členů například:

- ventil nádobky s aktivním uhlím
- ventil přestavení vačkové hřídele (u motorů s variabilním časováním ventilů)
- a další, jako ventilátory, elektronický termostat

#### 3.1. Vlastní indukce

Než se přistoupí k popisu vlastního principu spínání PWM, je nutné popsat základní princip vlastní indukce, většina výše zmíněných akčních členů, které se budou nově navrženým zařízením ovládat, se díky svým vinutím, chová jako zátěž indukčního charakteru.

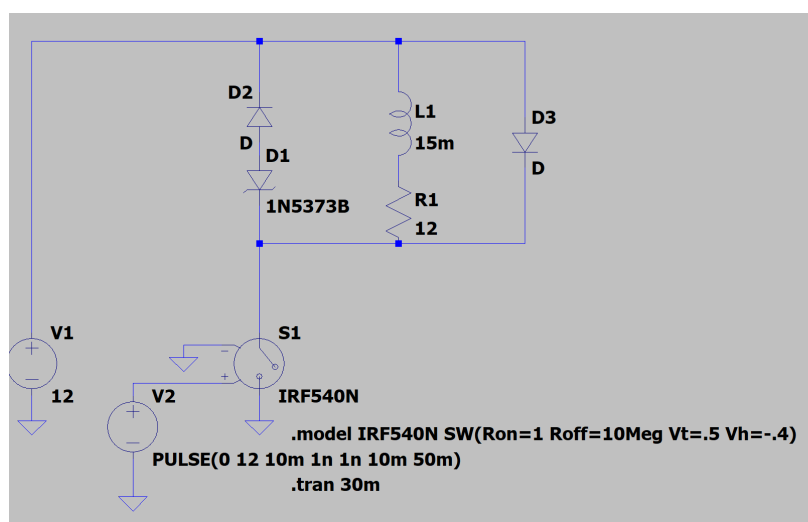
Cívku popisujeme její hlavní vlastností, což je tzv. indukčnost  $L$  [H]. Její velikost závisí na počtu závitů a typu a průřezu jádra. Proud indukčností se nemůže libovolně měnit, protože změna proudu za čas  $\frac{dI}{dt}$  vyvolá dle Faradayova zákona elektromagnetické indukce změnu magnetického toku, která vyvolá indukci napětí v závitech cívky. Toto napětí nazýváme vlastní indukované napětí (5).

$$u_i = -\frac{d\phi}{dt} = -L \cdot \frac{di}{dt} \quad (5)$$

kde  $u_i$  [V] je vlastní indukované napětí,  $\phi$  [Wb] je magnetický tok a  $L$  [H] indukčnost cívky. Indukované napětí svou polaritou působí proti vnějšímu napětí, které vyvolalo změnu proudu cívkou. Na základě výše popsaného, při rozpínání elektrického obvodu, vzniká na cívce indukované napětí, které může být až několikanásobně vyšší, než je napětí napájecí. Vlivem toho dochází v případě použití mechanického spínače k jiskření na jeho kontaktech a v případě použití tranzistoru, může velmi rychle dojít k jeho destrukci.

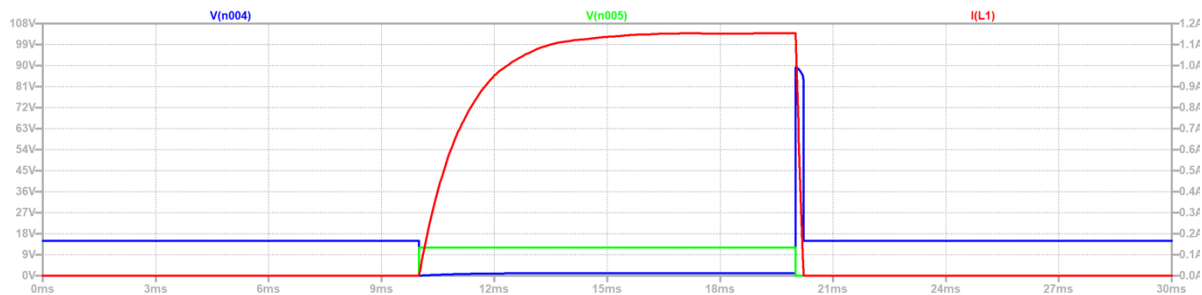
### 3.1.1. Simulace spínacího obvodu

Pro možnost bližšího pohledu na průběhy napětí a proudů při spínání indukční zátěže, byla pomocí softwaru LTSpice vytvořena simulace jednoduchého spínacího obvodu, dle schématu na Obrázek 20



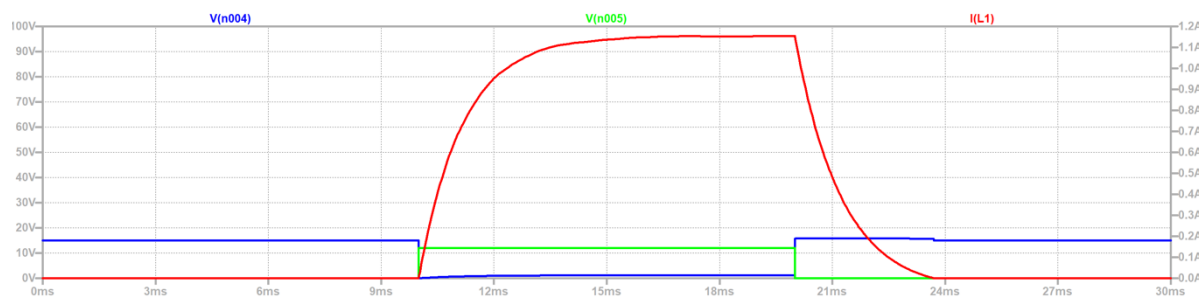
Obrázek 20: Schéma simulačního obvodu LTSpice

Samotná cívka  $L1$  je reprezentována pomocí indukčnosti o velikosti  $L = 15$  mH v sérii s činným odporem  $R = 12 \Omega$ , který představuje odpor vinutí. Pro účely simulace byla jako spínací člen použita virtuální součástka SW s názvem SPINAC, která v rámci softwaru LTSpice funguje jako napětím ovládaný spínač. Celý obvod je napájen virtuálním zdrojem V1 o napětí 15 V. Spínač je ovládán řídicím PWM signálem přivedeným z virtuálního zdroje V2. Kombinace diod D1 a D2 nahrazuje transil s průrazným napětím 68 V. Dioda D3 vystupuje jako nulová dioda.



Obrázek 21: Simulace obvodu bez nulové diody

Jak již bylo zmíněno, proud indukčnosti se nemůže skokově měnit. Což je vidět i z průběhů na Obrázku 21, kde červeně je vykreslen průběh proudu indukční zátěží, modře napětí na spínacím tranzistoru a zeleně řídicí signál. V momentě vypnutí spínacího tranzistoru dochází k prudkému nárůstu napětí, které je omezeno na přijatelnou hodnotu díky zapojení transilu. Naopak, při použití nulové diody "nabídneme" proudu při rozepnutí tranzistoru jinou cestu, a ten tak může klesat exponenciálně, jak je vidět na Obrázku 22.



Obrázek 22: Simulace obvodu s nulovou diodou

### 3.2. Pulzně šířková regulace - PWM

PWM regulace (z anglického Pulse Width Modulation), se v automotive odvětví používá k:

- ovládání proporcionálních elektromagnetických ventilů
- ovládání stejnosměrných motorků
- regulaci vyhřívání např. lambda sondy a dalších

Její princip spočívá v periodickém spínání a rozpínání obvodu tranzistorem. Takové spínání lze realizovat dvěma základními způsoby:

- s konstantní spínací frekvencí, kdy jen prodlužujeme, či zkracujeme dobu sepnutí
- s konstantní dobou sepnutí, kdy měníme spínací frekvenci (tento způsob se v praxi takřka nevyskytuje)

V automobilní technice se frekvence spínání pohybuje v řádech stovek Hz, až jednotek kHz.

Pomocí doby sepnutí  $t_{on}[s]$  a periody spínání  $T[s]$  můžeme zavést veličinu  $z[\%]$  zvanou střída, na základně rovnice (6)

$$z = 100 \cdot \frac{t_{on}}{T} \quad (6)$$

Změnou střídy tak ovlivňujeme střední hodnotu napětí na ovládané zátěži.

## 4. Rozšíření stávajícího zařízení o nové funkce

### 4.1. Zadání vedoucího práce

Hlavním účelem této práce je rozšíření výše popsaného stávajícího signálového generátoru o nové režimy a funkce, na základě podrobného zadání vedoucího práce. Přehledné porovnání stávajících a nových funkcí je zobrazeno v Tabulka 2:

<i>režimy a funkce</i>	<i>stávající zařízení</i>	<i>nově navrhované zařízení</i>
<i>emulace signálu ze snímače polohy klikové hřídele</i>	<i>ANO</i>	<i>ANO</i>
<i>emulace signálu ze snímače polohy vačkové hřídele</i>	<i>NE</i>	<i>ANO</i>
<i>emulace signálu ze snímače rychlosti vozidla</i>	<i>ANO</i>	<i>ANO</i>
<i>možnost vybírat z více vzorů signálních kotoučů</i>	<i>NE</i>	<i>ANO</i>
<i>emulace signálu ze snímačů z frekvenčním výstupem</i>	<i>NE</i>	<i>ANO</i>
<i>režim spínání akčních členů pomocí PWM</i>	<i>NE</i>	<i>ANO</i>
<i>emulace signálu ze snímačů z analogovým výstupem</i>	<i>NE</i>	<i>ANO</i>

Tabulka 2: Stručný přehled stávajících a nových funkcí signálového generátoru

V zadání práce je požadováno, aby návrh nových funkcí a režimů, pokud možno vycházel ze stávající filozofie a za využití podobného uživatelského rozhraní.

Přesnější kritéria zadání jednotlivých nových funkcí a režimů jsou popsány v následujících podkapitolách.



## **4.2. Podrobný popis zadání nových funkcí**

### **4.2.1. Signál ze snímače polohy klikové hřídele**

Tuto funkci stávající generátor sice obsahuje, ale jak již bylo v této práci zmíněno, současné zařízení umožňuje generovat signál pouze jednoho vzoru signálního kotouče a to 36-2. Rozšíření tedy spočívá v přidání nových vzorů, které budou pevně zaneseny ve firmwaru, a ze kterých si bude moci uživatel zařízení vybrat.

Nově bude mít uživatel i možnost emulovaný signál invertovat.

### **4.2.2. Signál ze snímače rychlosti**

U této stávající funkce současného zařízení bude mít nově uživatel možnost nastavit poměr mezi otáčkami klikové hřídele a samotnou rychlostí vozidla, stejně tak počet pulzů signálu na jednu otáčku kola.

Dále bylo zadáno doplnit možnost aktivovat vnitřní pull-up rezistor o odporu 1 k $\Omega$ , k napájení 5 V a 12 V a to formou jumperu na DPS i za cenu nutnosti odkrytovat instalační krabici.

### **4.2.3. Signál ze snímače polohy vačkové hřídele**

Zadání této nové funkce stanovuje, aby tento signálový výstup byl typu otevřený kolektor. Příslušný hardware se má navrhnout stejně, jako je použito u výstupu signálu rychlosti vozidla. Proudová zatížitelnost je tedy stanovena do 50 mA. Výstup je nutné chránit proti trvalému zkratu vratnou pojistkou. Dále je u tohoto výstupu požadováno umožnit uživateli aktivaci interního pull-up rezistoru o odporu 1 k $\Omega$ , k napájení 5 V a 12 V a to opět formou jumperu na DPS. Signálové vzory budou, stejně jako v případě snímače polohy klikové hřídele, zaneseny ve firmwaru v tabulce. Pro jednoduchost vedoucí požaduje, aby byl svázán průběh signálního vzoru klikové hřídele se signálním vzorem vačkové hřídele. Uživatel si v menu vybere typ vozidla a tím bude určen příslušný vzor signálů ze snímačů obou hřídelí.

## **4.2.4. PWM generátor se dvěma výstupy**

### **4.2.4.1. Výkonový výstup typu otevřený kolektor**

Vedoucí doporučuje pro spínání akčních členů použít N-kanálový MOSFET v konfiguraci s odpovídajícím budičem, pro snížení spínacích ztrát. Maximální trvalý výstupní proud je stanoven na 5 A. Požadována je rovněž ochrana výstupu transilem, proti případnému přepětí při rozpínání indukivní zátěže. Dále je nutné vybavit výstup uživatelem zapínatelnou nulovou diodou. Nadproudovou ochranu výstupu je potřeba realizovat formou tavné pojistky, umístěné tak, aby nebylo pro její výměnu nutné odkrývat instalační krabici. Připojení příslušných akčních členů k výstupu se má realizovat pomocí 4mm dutinkových konektorů.

### **4.2.4.2. Signálový výstup 5 V / 12 V**

Tento výstup bude sloužit pro simulaci některých snímačů s frekvenčním výstupem, jako je například snímač hmotnosti nasávaného vzduchu MAF HFM7, nebo pro spínání zapalovacích cívek, které mají integrovaný koncový stupeň.

Vedoucí požaduje výstup typu Push - Pull s přepínatelným výstupním napětím 5 V nebo 12 V, proudovou zatížitelnost do 10 mA, ochranu proti trvalému zkratu na výstupu, stejnou frekvenci a střidu spínání, jako má předchozí výkonový výstup typu otevřený kolektor.

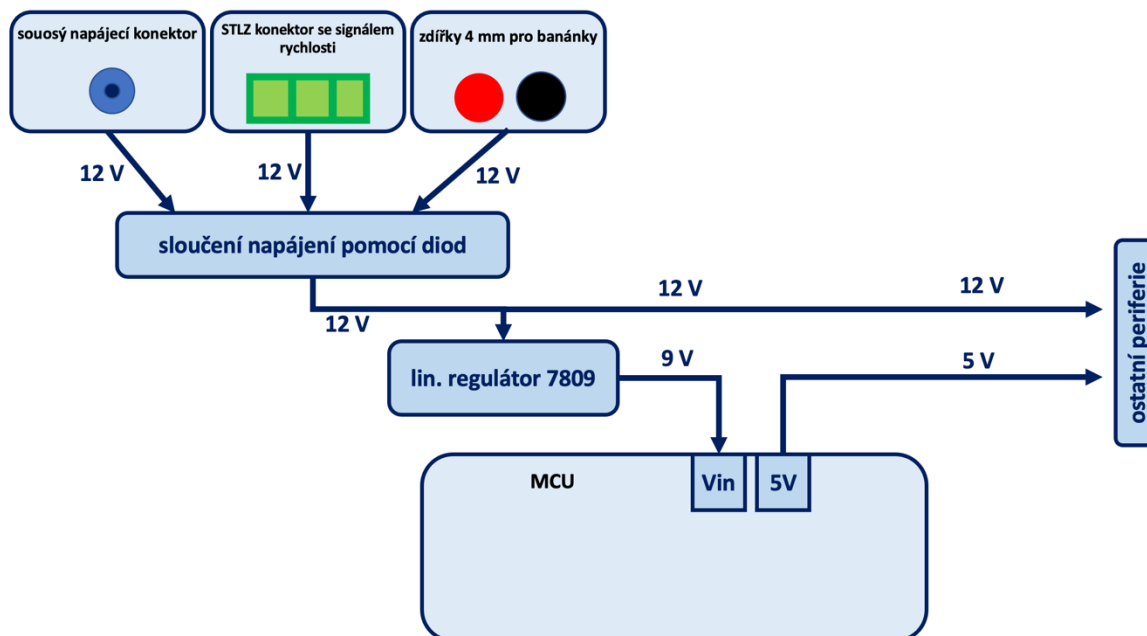
### **4.2.4.3. Ovládání PWM generátoru**

Zadání ukládá vytvořit dva režimy ovládání:

- zadávání frekvence a střidy
  - rozsah střidy 0 až 100 % s krokem 0,1 %
  - rozsah frekvence PWM 10 až 10 000 Hz
- zadávání doby sepnutí a periody spínání
  - perioda spínání v rozsahu 5 ms až 4 s
  - doba sepnutí od 0 s do periody spínání s krokem 10  $\mu$ s při periodě do 100 ms a krokem 100  $\mu$ s při periodách delších než 100 ms

### 4.3. Návrh napájení

Navržené napájení finálního zařízení vychází z doporučení vedoucího práce. Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je vyobrazeno blokové schéma napájení.



Obrázek 28: Blokové schéma napájení nového zařízení

Z blokového schématu je patrné, že napájení je do zařízení možné přivést ze sousého napájecího konektoru, připojením k palubnímu napětí vozidla 12 V, nebo využitím STLZ konektoru (využito i ve stávajícím zařízení) se signálem ze snímače rychlosti vozidla, nebo pomocí 4 mm zdiřek, které primárně slouží jako výstup typu otevřený kolektor, pro připojení akčního členu k PWM generátoru.

Pro zamezení zkratu mezi zdroji jsou tato přivedená napětí v zařízení sloučena pomocí Schottkyho diod typu 1N5819. Tento napájecí potenciál je přiveden na vstup lineárního regulátoru typu 7809 a výstup o napětí 9 V je přiveden do vstupu Vin na MCU Arduino Mega 2560. Výstup z MCU 5 V a diodami sloučený potenciál 12 V je použit pro napájení ostatních periférií zařízení.

Jednotlivá místa v obvodu, kam se přivádí napájení z vnějších zdrojů podle blokového schématu na Obrázek 28 a jejich ochrany, jsou podrobněji popsána v dalších podkapitolách.

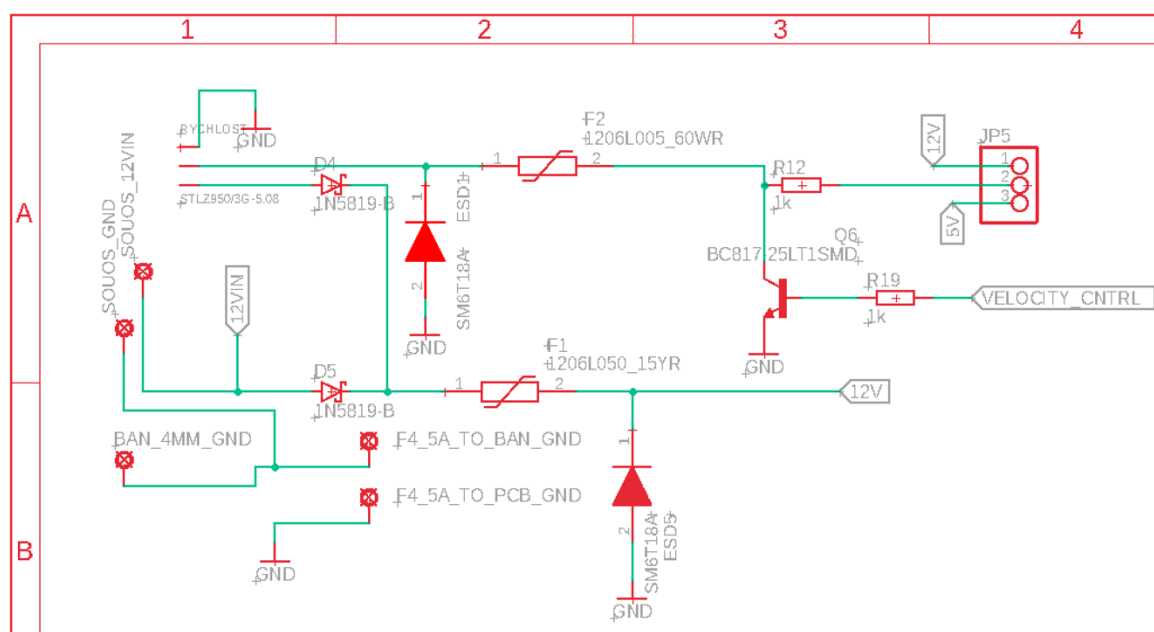
### 4.3.1. Napájení ze sousého napájecího konektoru

Jeden ze způsobů napájení je přivedení napětí 12 V do zařízení pomocí sousého napájecího konektoru 5,5 / 2,1 mm typu DS026-B.



Obrázek 29: Sousý napájecí konektor DS026-B [7]

V přiloženém fragmentu schématu, nakresleném v softwaru Autodesk Eagle, na Obrázek 30, je tento přívod vidět na souřadnicích A1. Tento přívod se nachází na prostřední DPS s názvem "Generator\_patro", celé schéma a návrh této desky je v přílohách I a J.



Obrázek 30: Schéma přívodu napájení ze sousého konektoru a konektoru STLZ

Tento souosý napájecí konektor byl ve schématu nahrazen virtuální součástkami "solder pads" a to potenciál 12 V s názvem "SOUOS\_12VIN" a potenciál zem s názvem "SOUOS\_GND", protože tento konektor nebude fyzicky umístěn přímo na desce plošných spojů, nýbrž na stěně krabičky. S DPS je tedy propojen pomocí drátových vodičů, které jsou připájené na příslušné pájecí plošky s výše uvedenými názvy.

Přívod potenciálu 12 V (ve schématu pojmenovaný jako "12VIN") pokračuje přes diodu D5 typu 1N5819, přes nadproudovou ochranu F1 (vratná pojistka PTC s jmenovitým proudem 500 mA, typu 1206L050\_15YR) a přes antiparalelně připojený 18 V transil D6, typu SM6T18A. Potenciál vedoucí od transilu D6 se ve schématu nazývá "12V" a jsou jím, jak bylo popsáno na blokovém schématu na Obrázek 28, napájeny napětím 12 V další periferie zařízení.

Přívod "SOUS\_GND" vede na společný potenciál celého zařízení GND přes tavnou trubičkovou pojistku F4 s jmenovitým proudem 5A, která je ve schématu reprezentovaná opět jen pájecími ploškami "solder pads", jelikož bude fyzicky umístěna na stěně krabičky v pojistkové objímce.

#### 4.3.2. Napájení z konektoru STZL

Tento způsob napájení vychází ze stávajícího zařízení. Využívá konektor STLZ950/3G, který slouží pro připojení k výstupu signálu z Hallova snímače rychlosti vozidla.

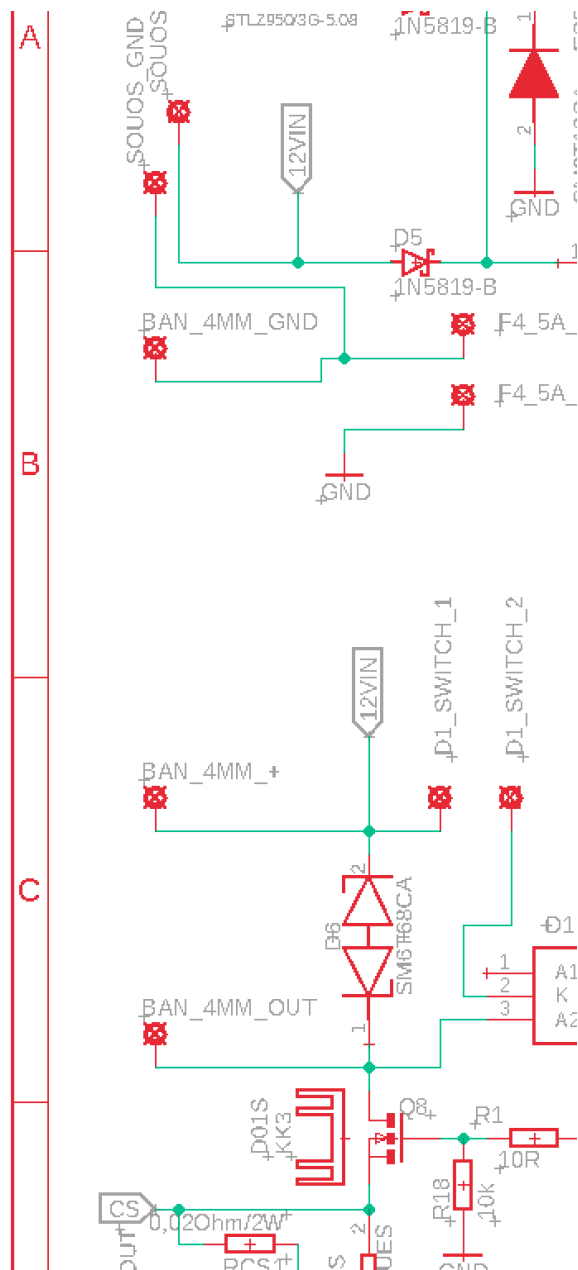


Obrázek 31: konektor STLZ950/3G (8)

Jak je vidět na schématu na Obrázek 30 na souřadnicích A1, záporný potenciál přivedeného napájení je propojen s potenciálem GND na desce a potenciál 12 V je přes diodu D4 typu 1N5819 připojen mezi diodu D5 a vratnou proudovou pojistku F1, čímž došlo ke sloučení napájení z tohoto konektoru STZL a napájení přivedeného ze souosého konektoru.

#### 4.3.3. Napájení z 4 mm zdířek pro banánky

V případě, že uživatel používá zařízení v režimu PWM generátoru pro spínání a ovládání různých akčních členů vozidla, byl pro jednoduchost navržen i tento způsob přívodu napájení do celého zařízení.



Obrázek 32: Schéma přívodu napájení ze 4 mm zdiřek pro banánky

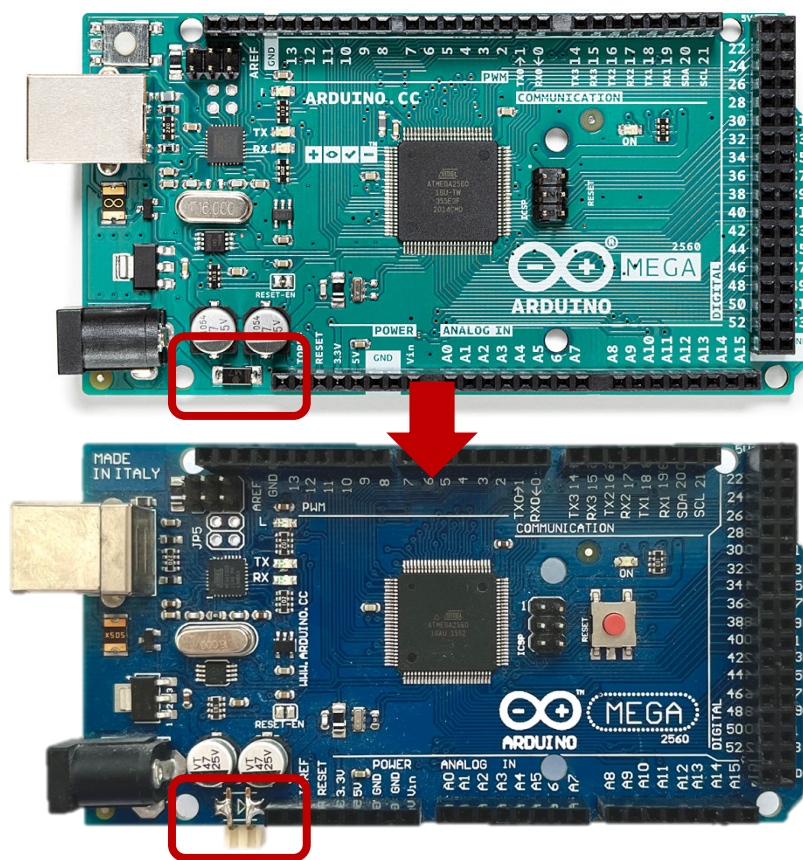
Jak je vidět na Obrázek 32 na souřadnicích A1 až C1, ani v tomto případě nejsou zdiřky pro připojení banánek umístěné přímo na desce plošných spojů, nýbrž na stěně instalační krabičky. Stejně jako přívod napájení ze sousého konektoru, jsou tyto zdiřky propojeny s deskou drátovými vodiči, jejichž konce jsou zapájeny na DPS pomocí pájecích plošek. Ve schématu jsou tedy reprezentovány pomocí virtuálních součástek "solder pads". Přívod napájení 12 V s názvem "BAN\_4MM\_+", výstup typu otevřený kolektor z PWM generátoru s názvem "BAN\_4MM\_OUT", který ovšem pro napájení zařízení nemá význam a konečně přívod "BAN\_4MM\_GND" pro připojení záporného pólu napájení, vede přes tavnou trubičkovou pojistku F4 s jmenovitým proudem 5A na společný potenciál GND celého zařízení.



Obrázek 33: Boční stěna zařízení s vyvedenými zdiřkami a napájecím konektorem

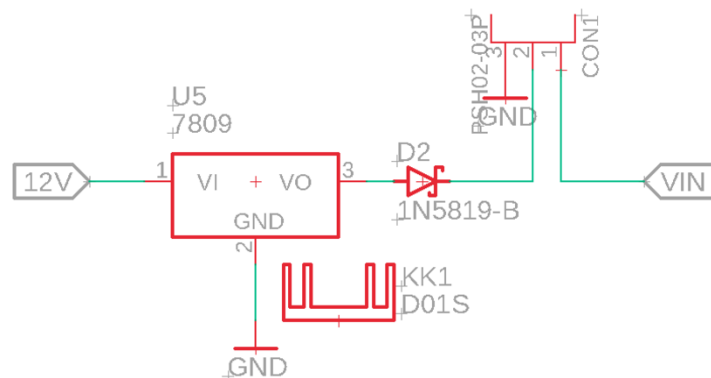
#### 4.3.4. Přívod napájení do MCU

Mikrokontroler Arduino Mega 2560 je možné napájet napětím 5 V připojením například k PC pomocí USB - B konektoru, nebo pomocí sousého konektoru napětím až 9 V. Pro zajištění přívodu napájení z vnějších zdrojů, při zachování možnosti připojení napětí 9 V k sousému konektoru mikrokontroleru, byla odpájena SMD dioda na přívodu napájení této MCU a nahrazena konektorem PSH-02 s externí Schottkyho diodou, připojeným k hlavnímu vypínači napájení na stěně instalační krabičky.



Obrázek 34: Úprava mikrokontroleru Arduino Mega 2560 pro přívod napájení a hlavní vypínač

Napětí 9 V se přivádí z výstupu lineárního regulátoru U5, typu 7809, jak je vidět na Obrázek 35.

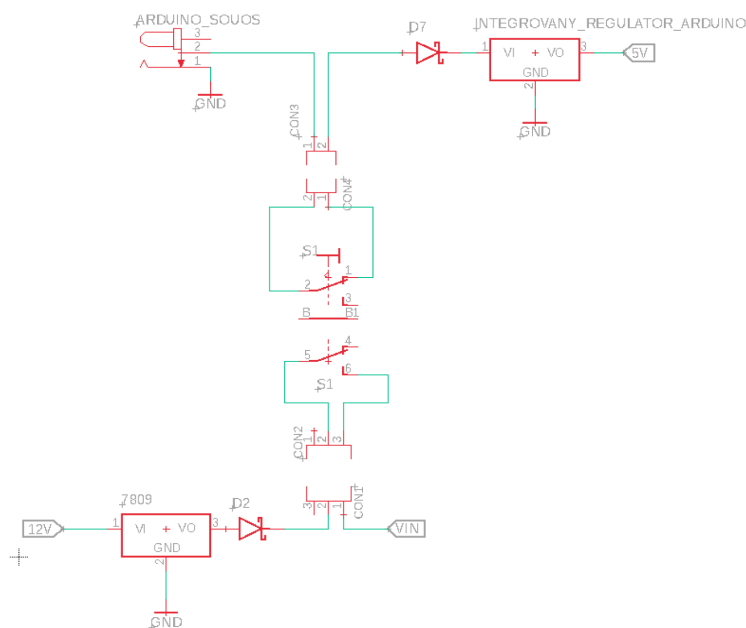


Obrázek 35: Lineární regulátor 7809

Na schématu prostřední desky "Generator\_patro", které je přílohou I, je vidět, že na vstup lineárního regulátoru U5 je přiveden potenciál "12V" a výstup je přes diodu D2 typu 1N5819 přiveden na pin č.2 konektoru CON1. Tímto konektorem je příslušným protikusem připojen hlavní vypínač napájení. Výstup z konektoru CON1 na pinu č.1 je připojen na potenciál "VIN", který je přes pin č. 7, kolíkové lišty JP1 přiveden na pin "Vin" mikrokontroleru na spodní DPS "Generator\_zaklad", čímž je zajištěno napájení mikrokontroleru.

Podrobněji o hlavním vypínači pojednává kapitola 4.3.5.

#### 4.3.5. Hlavní vypínač



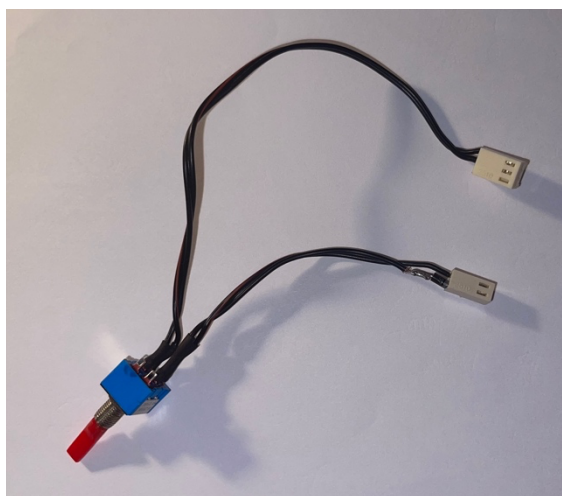
Obrázek 36: Schéma zapojení hlavního vypínače napájení



Na Obrázek 36 je vidět výše popsané zapojení výstupu z regulátoru 7809 na konektor CON1 a spínače na konektoru CON2.

Druhý pól spínače je přiveden na konektor CON4 typu PSH-02, jehož protikus, konektor CON3, zajišťuje možnost spínání a rozpínání napájení přivedeného z napájecího souosého konektoru na mikrokontroleru. Dioda D7 nahrazuje výše zmíněnou SMD diodu, která byla odpájena z deska mikrokontroleru a nahrazena konektorem CON3.

Konektor CON1 je umístěn na DPS "Generator\_patro" a konektory CON2 a CON4 na kabelech od přepínače napájení S1.

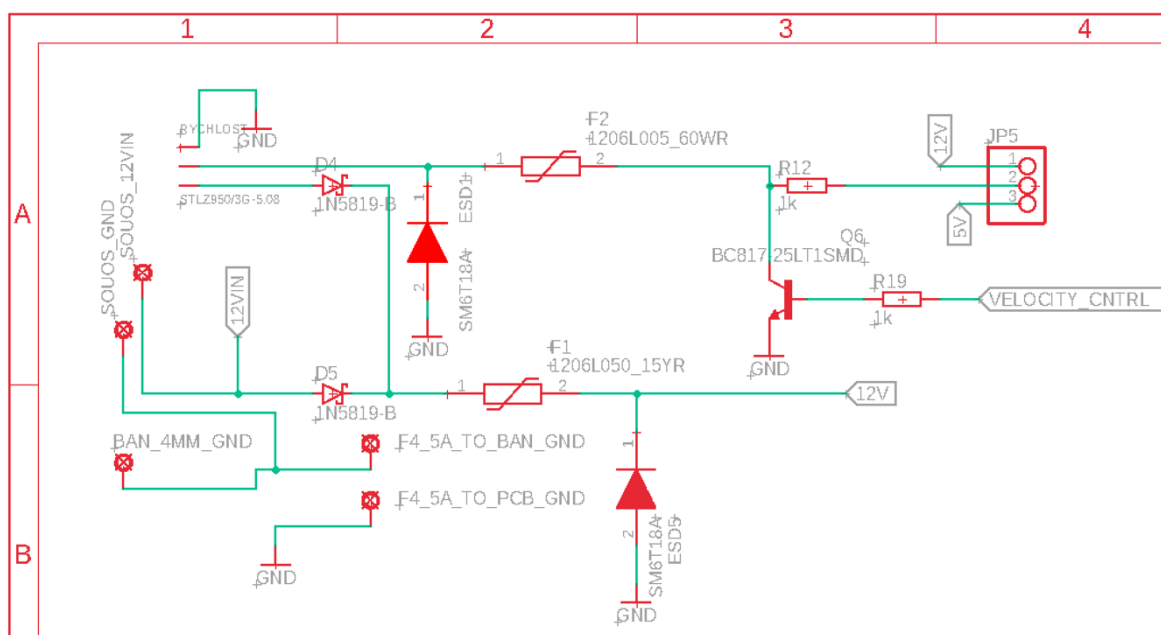


Obrázek 37: Provedení hlavního vypínače napájení

#### 4.4. Návrh obvodu pro emulaci signálu ze snímače rychlosti

Jak stanovuje podrobné zadání od vedoucího práce, popsané v kapitole 4.2.2, rozšíření této funkce spočívá v možnosti uživatele zvolit si napěťovou hladinu výstupního signálu. Signální výstup je typu otevřený kolektor, pokud se nepoužije jumper na kolíkové liště JP5, použitím jumperu uživatel volí napěťovou hladinu výstupního signálu.

Schéma této části obvodu je na souřadnicích A1 až A4 DPS "Generator\_patro".



Obrázek 38: Schéma obvodu pro emulování signálu ze snímače rychlosti vozidla

Jak lze vidět na Obrázek 38, možnost volby napěťové úrovně signálu je navržena pomocí 3kolíkové lámací lišty JP5, která je fyzicky osazena jedním 2pinovým jumperem. Piny 1 a 3 jsou připojeny k napájení 12 V a 5 V. Pin 2 je připojen na pull-up rezistor R12 o velikosti 1 kΩ. Vhodným umístěním jumperu na piny 1-2 nebo 2-3 uživatel nastavuje příslušné napájení rezistoru R12.

Výstup z rezistoru R12 je připojen na kolektor tranzistoru Q6 typu BC817 v pouzdru SOT-23 a přes vratnou proudovou pojistku F2 o jmenovitém proudu 50 mA na výstup do konektoru STLZ.

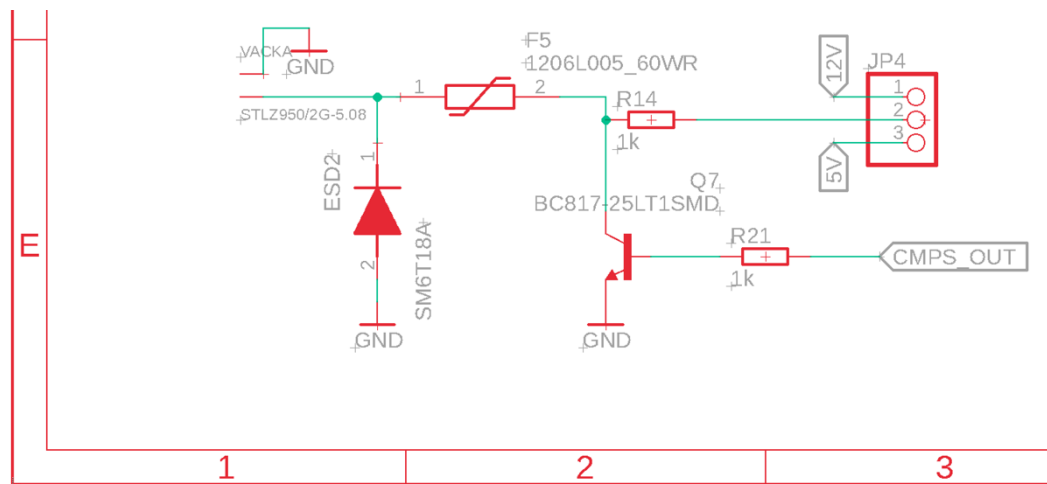
Tranzistor Q6 je řízen signálem "VELOCITY\_CNTRL" přes bazový rezistor R19 o velikosti 1 kΩ. Signál "VELOCITY\_CNTRL" je vyveden z MCU z DPS "Generator\_zaklad" z pinu D6 a přes pin č. 6 kolíkové propojovací lišty JP1 přiveden na prostřední DPS "Generator\_patro".

Je-li řídicí signál "VELOCITY\_CNTRL" v úrovni LOW (což odpovídá potenciálu GND), napětí na bázi je 0 V a do báze neteče žádný proud. Tranzistor Q6 tudíž není saturován a výstupní signál je v úrovni HIGH a to takové napěťové úrovni, která byla nastavena jumperem na kolíkové liště JP5. Přestavením řídicího signálu do úrovně HIGH, která odpovídá napěťové hladině 5 V, je do báze tranzistoru Q6 přiveden proud o velikosti cca 5 mA, tranzistor je díky tomu saturován a stáhne signálový výstup přes pull-up rezistor R12 ke GND. Výstupní signál se tedy překlopí do úrovně LOW.

Jako ochrana výstupu před elektrostatickými výboji, byl použit transil SM6T18A s průrazným napětím min. 17,1 V, jehož katoda je připojena na potenciál výstupního signálu proti GND.

#### 4.5. Návrh obvodu pro emulaci signálu ze snímače polohy vačkové hřídele

Stejně jako v případě signálu ze snímače klikové hřídele, i tento emulovaný signál má být typu otevřený kolektor s možností uživatele aktivovat interní pull-up rezistoru a tím volit výstupní napěťovou úroveň. Další podrobnosti stanovuje vedoucí práce v zadání popsaném v kapitole 4.2.3.



Obrázek 39: Schéma obvodu pro emulování signálu ze snímače polohy vačkové hřídele

Obvod zodpovědný za emulování signálu ze snímače polohy vačkové hřídele je na schématu prostřední DPS "Generator\_patro" na souřadnicích E1 až E3. Fragment schématu je na Obrázek 39.

Princip návrhu prakticky vychází z obvodu pro emulování signálu ze snímače klikové hřídele.

Připojení interního pull-up rezistoru R14 o velikosti 1 k $\Omega$  k napájecímu napětím 12 V nebo 5 V provede uživatel připojením jumperu na příslušné piny kolíkové lišty JP4. Rezistor R14 je připojen na kolektor tranzistoru Q7 a na výstup signálu do 2pinového konektoru STLZ950/2G přes vratnou proudovou pojistku F5 o jmenovitém proudu 50 mA.

Tranzistor Q7 je ovládán bázovým proudem přes rezistor R21 o velikosti 1 k $\Omega$  signálem s názvem "CMPS\_OUT", který je vyveden z MCU pinu D49, který je ze spodní DPS

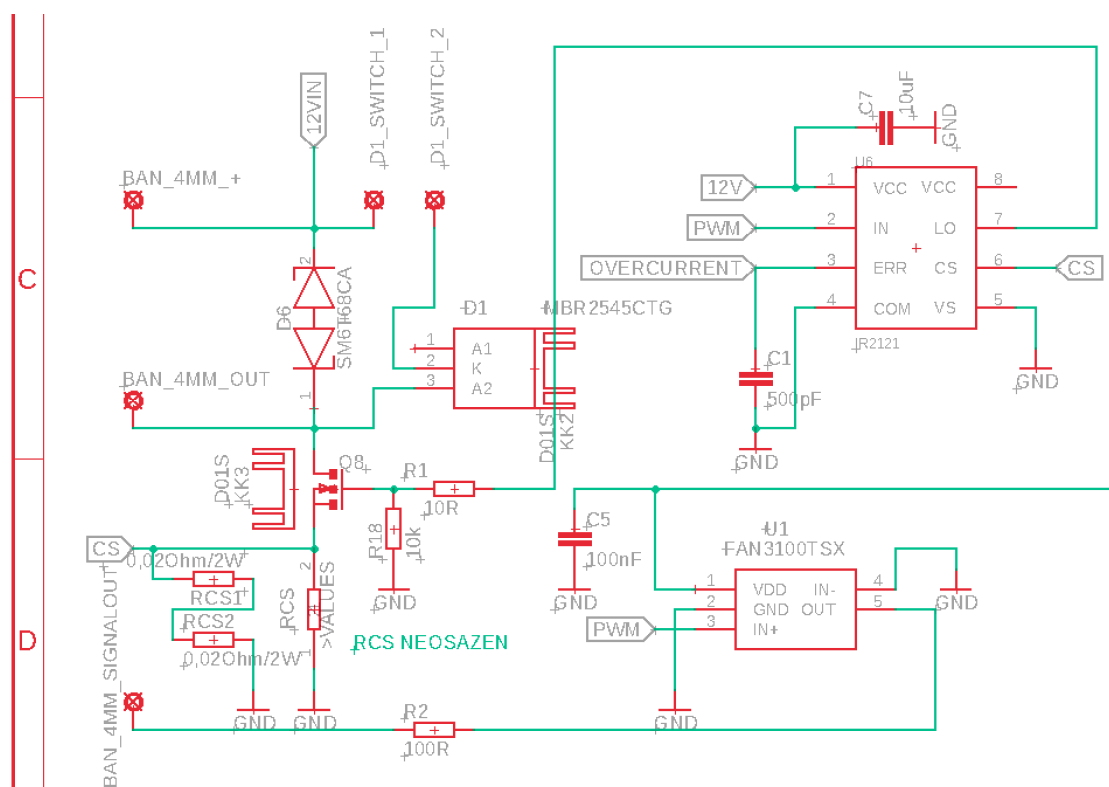
"Generator\_zaklad" vyveden na prostřední DPS "Generator\_patro" pomocí pinu č. 8 kolíkové lišty JP2.

Výstup je za pojistkou F5 rovněž chráněn proti elektrostatickým výbojům připojením transilu SM6T18A s průrazným napětím min. 17,1 V.

## 4.6. PWM generátor

V zadání je stanoveno, aby PWM generátor, což je zbrusu nová funkce zařízení, měl dva výstupy. Jeden silový výstup, typu otevřený kolektor a jeden signálový výstup typu Push - Pull. Oba výstupy mají být vyvedeny na 4 mm zdířky pro připojení banánek a jsou umístěny na boční stěně instalační krabice.

### 4.6.1. Silový výstup PWM generátoru



Obrázek 40: Schéma zapojení silového výstupu PWM generátoru

Obvod silového výstupu PWM generátoru se nachází na schématu DPS "Generator\_patro" na souřadnicích C1 až D4. Výřez příslušného obvodu na Obrázek 40.

Jako hlavní spínací součástka, tranzistor Q8, byl zvolen N - kanálový MOSFET IRF540N, který svými vlastnostmi vyhovuje zadání. Napájení pro silové spínání je přivedeno z pájecí plošky s názvem "BAN\_4MM\_+", která je připojena na 4 mm zdířku pro banánek. Na stejný potenciál je připojena pájecí ploška "D1\_SWITCH\_1" která spolu s ploškou

"D1\_SWITCH\_2" slouží pro připojení přepínače umístěného na boční stěně instalační krabice, který uživateli umožňuje do obvodu zapojit / odpojit nulovou diodu D1 typu MBR254CTG. Mezi "BAN\_4MM\_+" a "BAN\_4MM\_OUT" je zapojen transil SM6T68CA s průrazným napětím 68 V jako ochrana proti vysokému napětí způsobeného spínáním indukční zátěže.

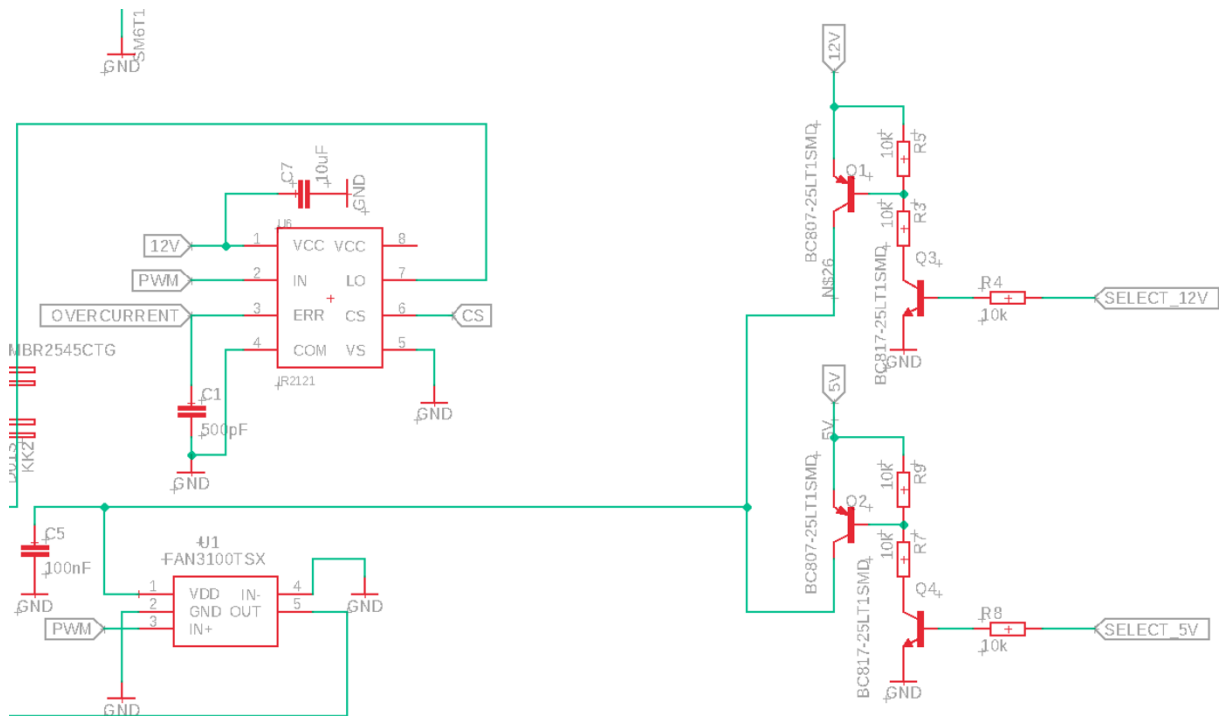
Pro minimalizaci spínacích ztrát na tranzistoru Q8, byl tento opatřen budičem IR2121, který disponuje i funkcí "Current sensing", tedy sledování proudu, tekoucího mezi drain a source. Proto jsou na source tranzistoru Q8 zapojeny 2 rezistory v sérii RCS1 a RCS2, každý o velikosti  $0,02 \Omega$  a na vstupu proudu do této kombinace rezistorů je zapojen potenciál s názvem "CS", který je připojen do pinu č. 6 budiče IR2121. Na DPS jsou připraveny vývody i trasy pro osazení drátového rezistoru o velikosti  $47 \text{ m}\Omega / 4 \text{ W}$ , jako příprava pro budoucí návrh softwaru pro měření protékajícího proudu. Tento rezistor prozatím není osazen. Pokud napětí na pinu č. 6 překročí hranici 300 mV, vybaví nadproudová ochrana a budič změní režim spínání na tzv. lineární režim, kdy reguluje napětí na řídicí elektrodě tranzistoru tak, aby proud dále nestoupal. Zároveň se na pinu č. 3 "ERR" připojí konstantní proud  $100 \mu\text{A}$ , kterým se nabíjí kondenzátor C1. Dosáhne - li napětí na kondenzátoru C1 úrovně 1,8 V, budič deaktivuje spínání tranzistoru na zbytek cyklu a aktivuje interní komparátor, který připojí ERR pin 15 mA pull-up proudem k napájecímu napětí, což se v tomto návrhu používá jako signál "OVERCURRENT", zavedený do pinu D21 MCU přes pin č. 8 kolíkové lišty JP3. Jakmile řídicí signál na vstupu do budiče nabyde úrovně LOW, ERR pin se přestaví do pull-down režimu a proudem 30 mA vybijí kondenzátor C1 a cyklus se může opakovat. Tímto výše popsáním návrhem a zapojením bylo splněno zadání vedoucího práce, připravit hardware pro sledování tekoucího proudu.

PWM signál je přiveden na pin č. 2 "IN" budiče IR2121 a to z MCU pinu D7, přes pin č. 5 kolíkové lišty JP1. Výstup z budiče z pinu č. 7 "LO" je připojen přes rezistor R1 o velikosti  $10 \Omega$  na řídicí elektrodu tranzistoru Q8. Pro zajištění uzavření spínacího tranzistoru i ve chvíli, kdy by mohl být pin D7 MSU ve stavu vysoké impedance, byl použit pull - down rezistor R18 o velikosti  $10 \text{ k}\Omega$ .

#### **4.6.2. Signálový výstup z PWM generátoru**

Signálový výstup, vyvedený na 4 mm zdířku pro banánky reprezentovanou pájecí ploškou s názvem "BAN\_4MM\_SIGNALOUT" má být typu Push - Pull, což zajišťuje použitý budič U1 typu FAN3100TSX. Byl použit jiný budič, než u silového spínání, protože v tomto případě není za potřebí sledovat protékající proud. Zároveň bylo potřeba vybrat takový budič, který je schopen pracovat v rozsahu napájecího napětí 5 V až 12 V, protože v zadání je požadováno navrhnout signálový výstup z PWM generátoru s volitelnou napěťovou úrovní

5 V a 12 V. Budič FAN3100TSX dokáže pracovat v rozsahu napájecího napětí 4,5 až 18 V. Signál PWM je přiveden do budiče na neinvertující vstup, pin č. 3 "IN+" a invertující vstup "IN-" je připojen na GND a tím deaktivován. Výstup z budiče z pinu č. 5 "OUT" je připojen skrz ochranný rezistor R2 o velikosti 100  $\Omega$  na pájecí plošku 4 mm zdířky "BAN\_4MM\_SIGNALOUT".



Obrázek 41: Schéma návrhu volby napájení budiče FAN3100TSX

Návrh této části obvodu, která umožňuje volit napájecí napětí budiče U1 je na schématu DPS "Generator\_patro" na souřadnicích C5 až D6, výsek příslušné části na Obrázek 41.

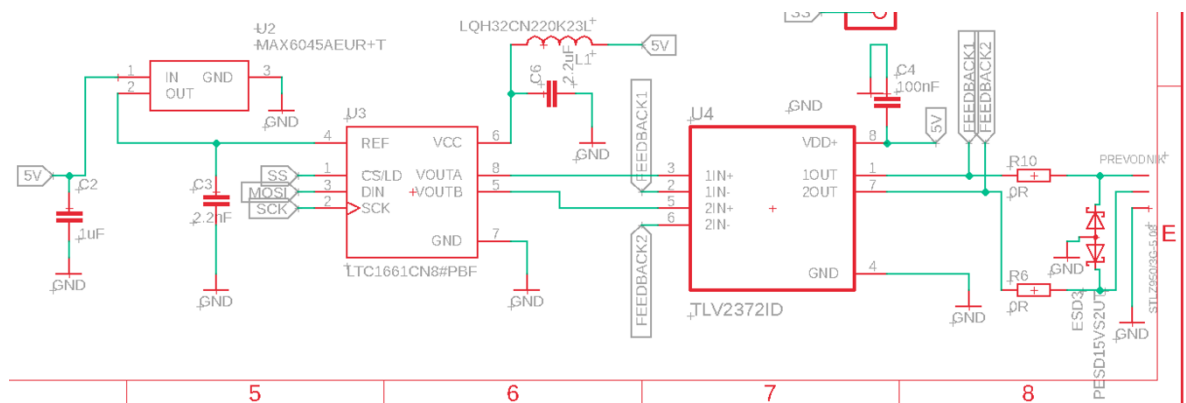
Tato funkce je realizována pomocí dvou párů tranzistorů Q1 - Q3 pro napětí 12 V a Q2 - Q4 pro napětí 5 V. Které z těchto napájecích napětí má být aktivní, se volí přestavením signálů "SELECT\_12V" a "SELECT\_5V" do úrovně HIGH, zatímco signál nepoužívaného napětí musí být v úrovni LOW.

Následující popis funkce tohoto návrhu předpokládá, že chceme budič U1 napájet napětím 12 V. Signál "SELECT\_12V" je v úrovni HIGH a signál "SELECT\_5V" je v úrovni LOW. Díky HIGH úrovni signálu "SELECT\_12V" teče proud do báze tranzistoru Q3, přes rezistor R4 o velikosti 10 k $\Omega$ , dojde tedy k otevření tranzistoru Q3 a připojení báze tranzistoru Q1, přes rezistor R3 o velikosti 10 k $\Omega$  ke GND. To umožní vytékání proudu z báze Q1 a dojde k jeho otevření, čímž se dostane napájecí napětí 12 V, připojené k jeho kolektoru na výstup z tohoto tranzistorového obvodu, který je zaveden na pin č. 1 "VDD" budiče U1. Oproti tomu "SIGNAL\_5V", toho času v úrovni LOW neumožňuje proudu téci přes rezistor R8 o velikosti

10 k $\Omega$  do báze tranzistoru Q4, který je uzavřen. Díky jeho uzavření nemůže vytékat proud z báze tranzistoru Q2, který je rovněž uzavřen a napájecí napětí 5 V není aktivní.

#### 4.7. Analogový výstup z DA převodníku

Příslušná část obvodu se nachází na schématu DPS "Generator\_patro" na souřadnicích E4 až E8.



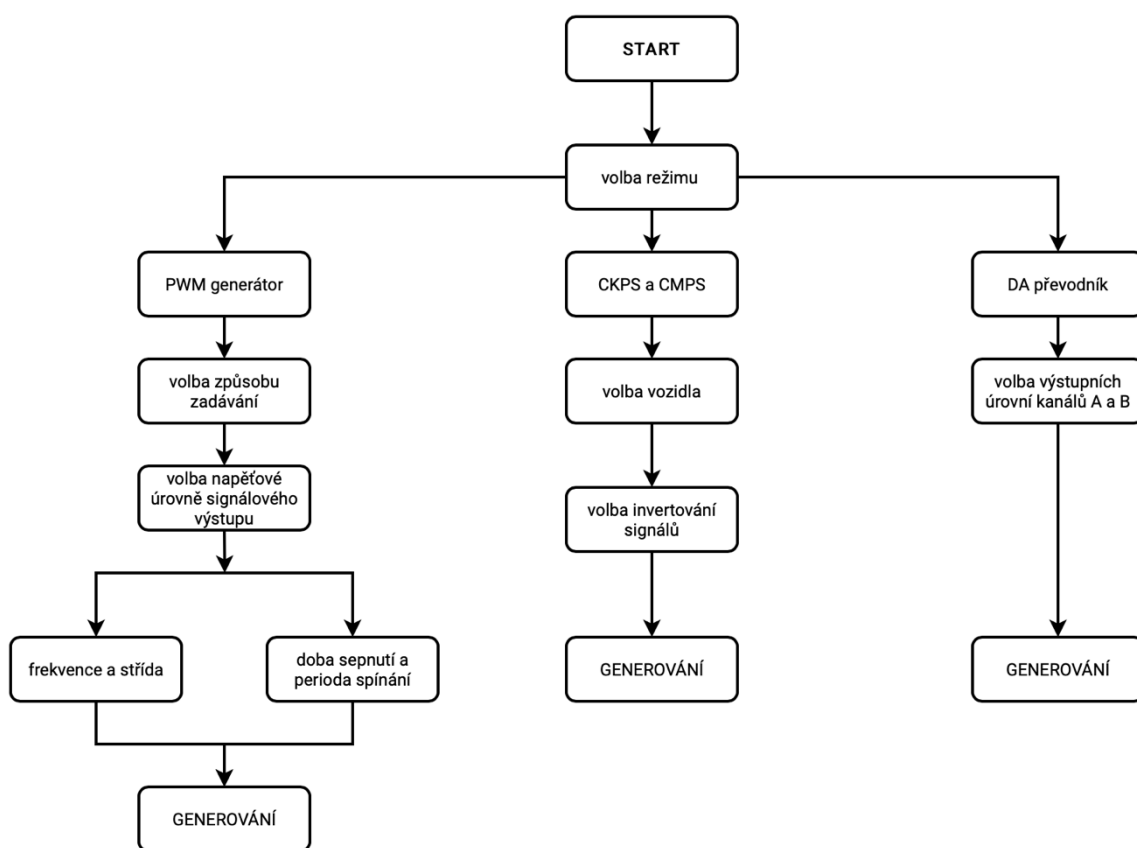
Obrázek 42: Schéma obvodu DA převodníku

Celý blok začíná napětřovou referencí U2 typu MAX6045, napájenou napětím 5 V, s výstupním, referenčním napětím 4,5 V, které je přivedeno na pin č. 4 DA převodníku U3 typu LTC1661. Na piny č. 1,2 a 3 jsou zapojeny signály SS, MOSI a SCK, které jsou skrz piny č. 5, 3 a 4 kolíkové lišty JP3 vyvedeny z MCU z pinů D52, D53 a D50. Výstupy A a B z převodníku U3 jsou z pinů č. 8 a 5 připojeny do operačních zesilovačů v integrovaném obvodu U4 typu TLV2372 a to na piny č. 3 a 5, což jsou neinvertující vstupy do příslušných operačních zesilovačů. Výstupy z operačních zesilovačů v integrovaném obvodu U4, z pinů 1 a 2 jsou zapojeny jednak zpět na neinvertující vstupy, čímž jsou oba operační zesilovače zapojeny v podobě napětřových sledovačů, tak přes rezistory R6 a R10 o velikosti 0  $\Omega$  na konektor STLZ. Výstup je rovněž opatřen ochranou proti elektrostatickým výbojům ESD3 typu PESD15V.

## 4.8. Firmware

Firmware byl napsán a do MCU nahrán pomocí vývojového prostředí Atmel Studio 6.1. V zadání této práce je stanoveno, při navrhování nového zařízení vycházet ze stávající filozofie, nový firmware je tedy postaven na základech a principu fungování firmwaru stávajícího zařízení a byly doprogramovány nové funkce, které byly popsány v této práci.

Na Obrázek 43 je vidět jednoduché blokové schéma firmwaru, jehož jednotlivé součásti budou popsány v dalších kapitolách.



Obrázek 43: Jednoduché blokové schéma firmwaru

Uživatel si listuje příslušnými volbami a hodnotami otáčením rotačním enkodérem, potvrzuje stisknutím tlačítka integrovaného v enkodéru, vrací se zpět pomocí nového tlačítka "ZPĚT" a spouští generování příslušných signálů tlačítkem "START / STOP".

### 4.8.1. PWM generator

Samotné generování PWM signálu je realizováno pomocí interního 16bitového časovače TIMER4. Vzhledem k tomu, že uživatel má mít možnost za běhu měnit frekvenci i střídu generovaného signálu, běží časovač v režimu "PWM - Phase and Frequency correct".



Zároveň bylo pomocí řídicího registru časovače aktivována funkce přímého ovládní výstupního pinu časovačem.

Uživatel nejprve zvolí požadovaný způsob zadávání. Je na výběr buď zadávání frekvence a střídý, nebo doby sepnutí a periody spínání. MCU podle zadaných hodnot nejprve vypočítá, jaká před-dělička bude zapotřebí, příslušné TOP a BOTTOM hodnoty čítače a po stisku tlačítka "START / STOP" spustí generování PWM signálu.

#### **4.8.2. CKPS a CMPS a signál rychlosti**

Generování signálů je realizováno pomocí interního 16bitového časovače TIMER1, který běží v režimu "Clear Timer on Compare". I v tomto režimu je pomocí řídicího registru přiřazeno hardwarové ovládní výstupních pinů časovačem.

Při výběru tohoto režimu je uživatel vyzván nejprve k výběru vozidla. Na základě zadání od vedoucího práce je zařízení vybaveno signálovými vzory kotoučů vačkové a klikové hřídele tří různých vozidel. Tyto jsou zaneseny přímo v programu MCU formou tabulky hodnot. Hodnota "0" pro mezeru, hodnota "1" pro zub.

Dále uživatel nastaví, jaké a zda chce signály invertovat, či nikoliv. Po potvrzení této volby se zobrazí možnost nastavit požadované otáčky motoru, počet pulzů signálu ze snímače rychlosti na jednu otáčku kola vozidla a vypočtená odpovídající rychlost vozidla.

Na základě zadaných hodnot program vypočítává a filtruje frekvenci vyčítání hodnot z příslušné tabulky signálových vzorů a nastavuje příslušnou vypočtenou komparační hodnotu. Jakmile dojde ke komparaci, je aktivováno přerušení, kde se obslouží samotné vyčtení příslušných hodnot z tabulek. Aby bylo zajištěno zarovnání hran všech signálů, výčet hodnot z tabulek vzorů klikové a vačkové hřídele probíhá v jedné ISR (Interrupt Service Routine) a při nastavování vyčtených stavů na příslušné piny se na tyto přistupuje přímo pomocí registrů DDR a PORT.

Ve stejné ISR se obsluhuje i generování signálu ze snímače rychlosti vozidla.

## 4.9. Výpočet oteplení součástek

V následujících podkapitolách je uveden výpočet oteplení součástek, na které jsou kladeny vyšší výkonové nároky a to jsou:

- nulová dioda D1 typu MBR2545CT
- spínací tranzistor Q8 typu IRF540N
- lineární regulátor U5 typu 7809

### 4.9.1. Oteplení diody D1

V následujícím výpočtu je uvažováno, že diodou poteče trvalý maximální proud 5 A. Podle katalogového listu výrobce bude při tomto proudu na diodě úbytek napětí  $U_f \doteq 0.5V$ , což nám dává celkový ztrátový výkon (7)

$$P = I_f \cdot U_f = 5 \cdot 0.5 = 2,5W \quad (7)$$

Dále počítáme s přičtením určité bezpečnosti se zaokrouhlenou hodnotou 3 W.

V katalogovém listu výrobce je stanovena maximální teplota jádra na  $\vartheta_{jmax} = 175 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pro výpočet oteplení uvažujeme teplotu okolí  $\vartheta_{amax} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Teplotní odpor pouzdra diody TO-220 je  $R_{\vartheta_{ja}} \doteq 65 \text{ }^\circ\text{C}/W$ , což nám při ztrátovém výkonu  $P = 3 \text{ W}$  dává nárůst teploty

$$\Delta \vartheta = 65 \text{ }^\circ\text{C}/W \cdot 3 \text{ W} = 195 \text{ }^\circ\text{C} \quad (8)$$

Přičteme-li teplotu okolí  $\vartheta_{amax} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  dostáváme hodnotu  $235 \text{ }^\circ\text{C}$ . Provoz diody D1 bez chladiče je tedy nepřijatelný.

Maximální vzrůst teploty pro náš případ je

$$\vartheta_{jmax} - \vartheta_{amax} = 175 \text{ }^\circ\text{C} - 40 \text{ }^\circ\text{C} = 135 \text{ }^\circ\text{C} \quad (9)$$

Při výkonu  $P = 3 \text{ W}$  je tedy nutno dodržet maximální  $R_{\vartheta} = \frac{135^\circ\text{C}}{3\text{W}} = 45 \text{ }^\circ\text{C}/W$

Dioda D1 tedy musí být opatřena chladičem s max.  $R_{\vartheta} = 45 \text{ }^\circ\text{C}/W$

### 4.9.2. Oteplení spínacího tranzistoru Q8

Celkové ztráty na tranzistoru se skládají ze ztrát způsobených:

- propustným proudem
- spínáním
- rozpínáním
- buzením řídicí elektrody

Budeme tedy dosazovat do rovnice:

$$P_c = P_v + P_{on} + P_{off} + P_{gate} \quad (10)$$

Počítáme se spínací frekvencí  $f = 10 \text{ kHz}$ , proudem  $I = 5 \text{ A}$ ,  $t_{on} = 40 \text{ ns}$  a  $t_{off} = 40 \text{ ns}$ , střída  $D = 99 \%$  při maximální povolené teplotě jádra  $\vartheta_{jmax} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$

#### 4.9.2.1. Ztráty propustným proudem

Podle katalogového listu výrobce je při teplotě  $120 \text{ }^\circ\text{C}$   $R_{DS} = 0.088 \text{ } \Omega$ , což nám dává ztrátový výkon:

$$P_v = R_{DS} \cdot I^2 \cdot D = 0.088 \text{ } \Omega \cdot 25 \cdot 0.99 = 2,178 \text{ W} \quad (11)$$

#### 4.9.2.2. Ztráty spínací

V následujících výpočtech se počítá s zapínací a vypínací dobou  $40 \text{ ns}$ .

$$P_{on} = \frac{1}{2} U_{DS} \cdot I \cdot t_{on} \cdot f = \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 5 \cdot 40 \cdot 10^{-9} \cdot 10000 = 0.015 \text{ W} \quad (12)$$

#### 4.9.2.3. Ztráty rozpínací

$$P_{off} = \frac{1}{2} U_{DS} \cdot I \cdot t_{off} \cdot f = \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 5 \cdot 40 \cdot 10^{-9} \cdot 10000 = 0.015 \text{ W} \quad (13)$$

#### 4.9.2.4. Ztráty buzením řídicí elektrody

$$P_{off} = \frac{1}{2} U_{DS} \cdot I \cdot t_{off} \cdot f = \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 5 \cdot 40 \cdot 10^{-9} \cdot 10000 = 0.015 \text{ W} \quad (14)$$

Celkové ztráty se tedy rovnají

$$P_c = P_v + P_{on} + P_{off} + P_{gate} = 2,21865 \text{ W} \quad (15)$$

Při výkonu  $P = 2,21865 \text{ W}$  a teplotním odporu  $R_{\vartheta ja} \doteq 62 \text{ }^\circ\text{C/W}$  (bez chladiče) nám vychází nárůst teploty

$$\Delta \vartheta = 62 \text{ }^\circ\text{C/W} \cdot 2,22 \text{ W} + \vartheta_{amax} = 177^\circ\text{C} \quad (16)$$

Bez chladiče tedy tranzistor provozovat nelze.

Chladič budeme dimenzovat na maximální teplotu jádra  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ , což nám při  $\vartheta_{amax} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  dovoluje nejvyšší  $\Delta \vartheta = 80 \text{ }^\circ\text{C}$

$$P \cdot (R_{\vartheta jc} + R_{\vartheta cs} + R_{\vartheta sa}) \leq 80 \quad (16)$$

$$R_{\vartheta sa} \leq \frac{80}{2,22} - 0,5 - 1,15 \quad (17)$$

$$R_{\vartheta sa} \leq 34,4 \text{ }^\circ\text{C/W} \quad (18)$$

Tranzistor Q8 tedy musí být opatřen chladičem s max.  $R_{\vartheta} = 45 \text{ }^\circ\text{C/W}$

### 4.9.3. Oteplení lineárního regulátoru 7809

Maximální proud, které může zařízení odebrat z napájecího napětí 12V je 500mA Pro výpočet ztrátového výkonu a oteplení budeme tedy počítat s touto maximální možnou velikostí odebíraného proudu. Vstupní napájecí napětí považujeme za 15 V, protože zařízení bude napájení z vozidlové sítě.

Ztrátový výkon na lineárním regulátoru počítáme jako:

$$P = (U_{in} - U_{out}) \cdot I = (15 \text{ V} - 9 \text{ V}) \cdot 0.5 \text{ A} = 3 \text{ W} \quad (19)$$

Nárůst teploty tedy bude:

$$\Delta \vartheta = 50 \text{ }^\circ\text{C/W} \cdot 3 \text{ W} = 150 \text{ }^\circ\text{C} \quad (20)$$

Při zohlednění teploty okolí  $\vartheta_{amax} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  nám vychází na teplotu jádra  $190 \text{ }^\circ\text{C}$ . Provozovat tedy 7809 bez chladiče nepřichází v úvahu.

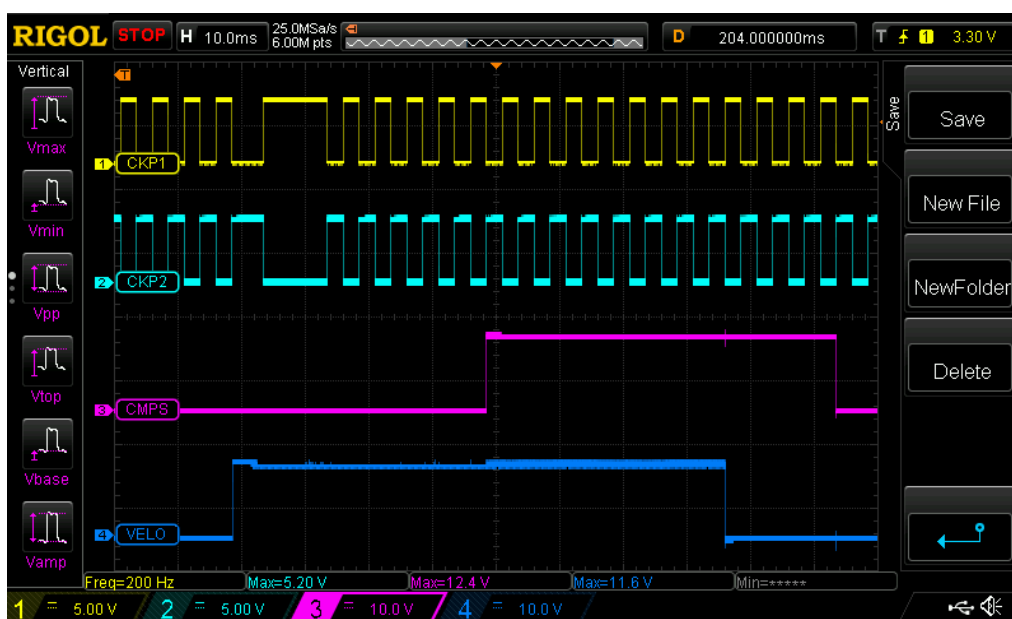
Výrobce stanovuje nevyšší přípustnou teplotu jádra na  $\vartheta_{jmax} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$ , což nám při zohlednění zadané teploty okolí umožňuje maximální tepelný nárůst  $\Delta \vartheta = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Při výkonu  $P = 3 \text{ W}$  je tedy nutno dodržet maximální  $R_{\vartheta} = \frac{85 \text{ }^\circ\text{C}}{3 \text{ W}} = 28.3 \text{ }^\circ\text{C/W}$

Lineární regulátor je tedy nutno opatřit chladičem s max.  $R_{\vartheta} = 28.3 \text{ }^\circ\text{C/W}$

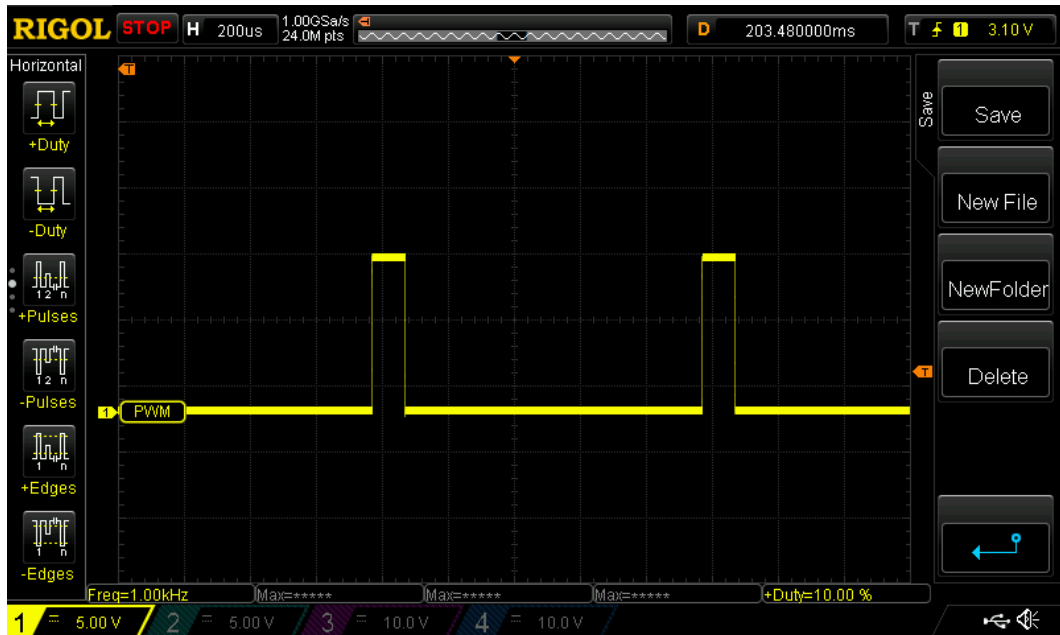
## 5. Ověření funkce nového zařízení

### 5.1. Signály CKPS, CMPS a signál rychlosti



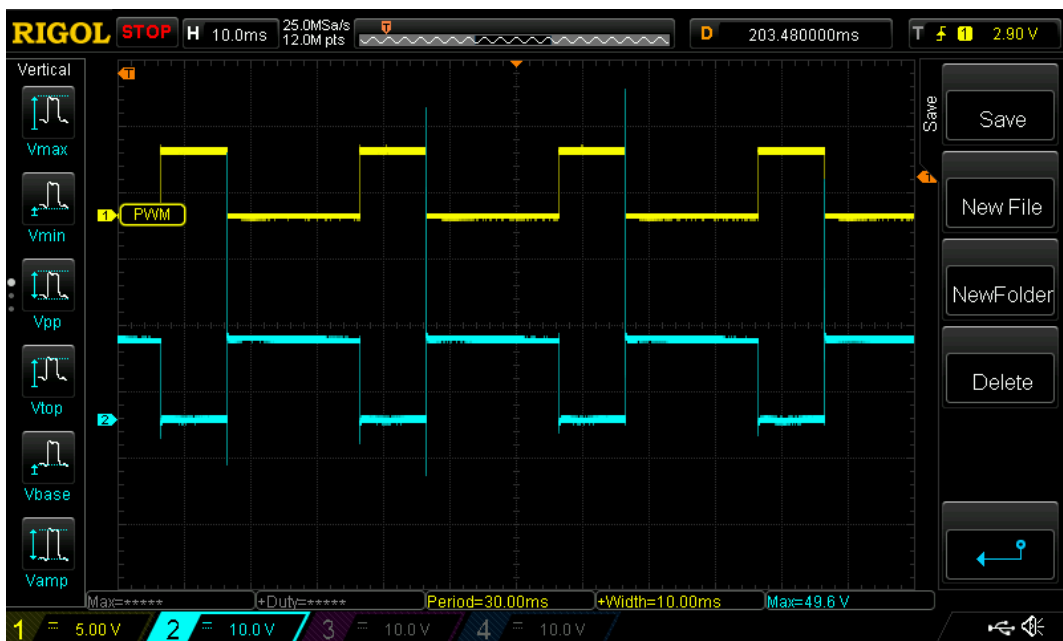
Obrázek 44: Výstupní signály z nového zařízení při nastavení otáček motoru 200 1/min

## 5.2. Signálový výstup z PWM generátoru



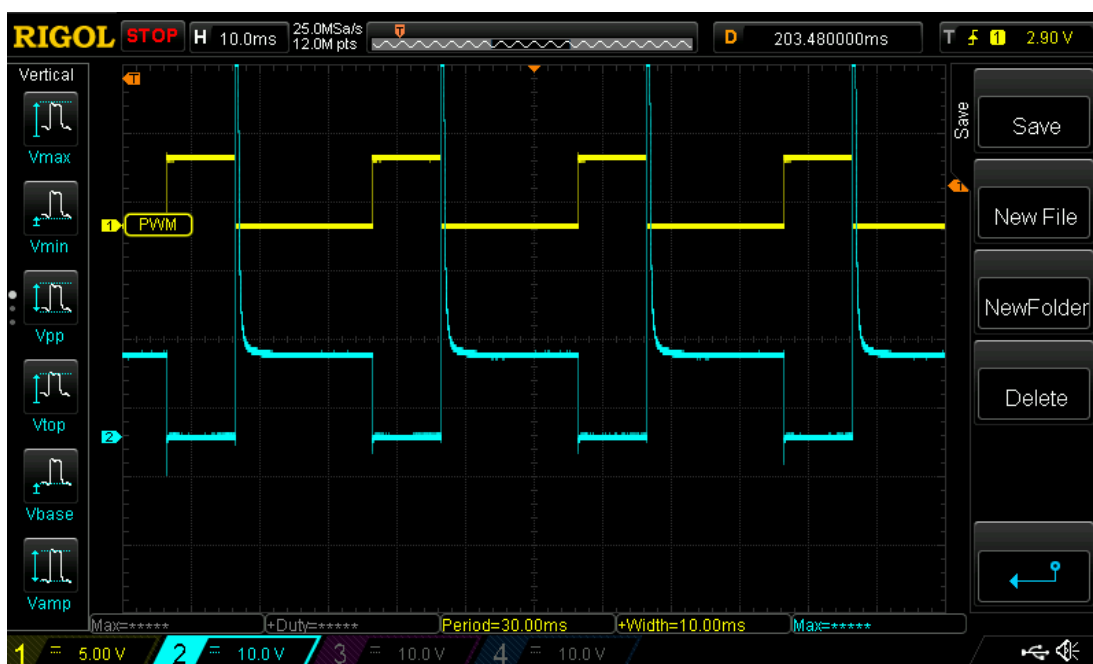
Obrázek 45: Signálový výstup z PWM generátoru - nastavená frekvence 1 kHz a sířida 10%

## 5.3. Silový výstup



Obrázek 46: Spínání EGR ventilu - nastavení periody spínání 30ms a délky sepnutí 10 ms - s nulovou diodou

Na Obrázek 46 jsou zobrazeny průběhy řídicího PWM signálu a napětí na spínacím tranzistoru Q8 při použití nulové diody D1. Je vidět, že stav koresponduje se simulací, která byla popsána výše.



Obrázek 47: Spínání EGR ventilu, nastavení periody spínání 30 ms a délky sepnutí 10ms - bez nulové diody

Na Obrázek 47 je vidět stav po odpojení nulové diody D1. Napěťové špičky na tranzistoru Q8 při rozeptnutí jsou jasně patrné, nýbrž omezené použitým transilem.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo rozšíření stávajícího signálového generátoru o nové funkce, odpovídající hardware a firmware za předpokladu, že nové návrhy budou vycházet se stávající filozofie zařízení.

Jak popisuje kapitola Ověření funkce nového zařízení, zařízení se chová přesně tak, jak požaduje zadání od vedoucího BP a je tedy připraveno k spolehlivé a přesné práci v praktickém využití.

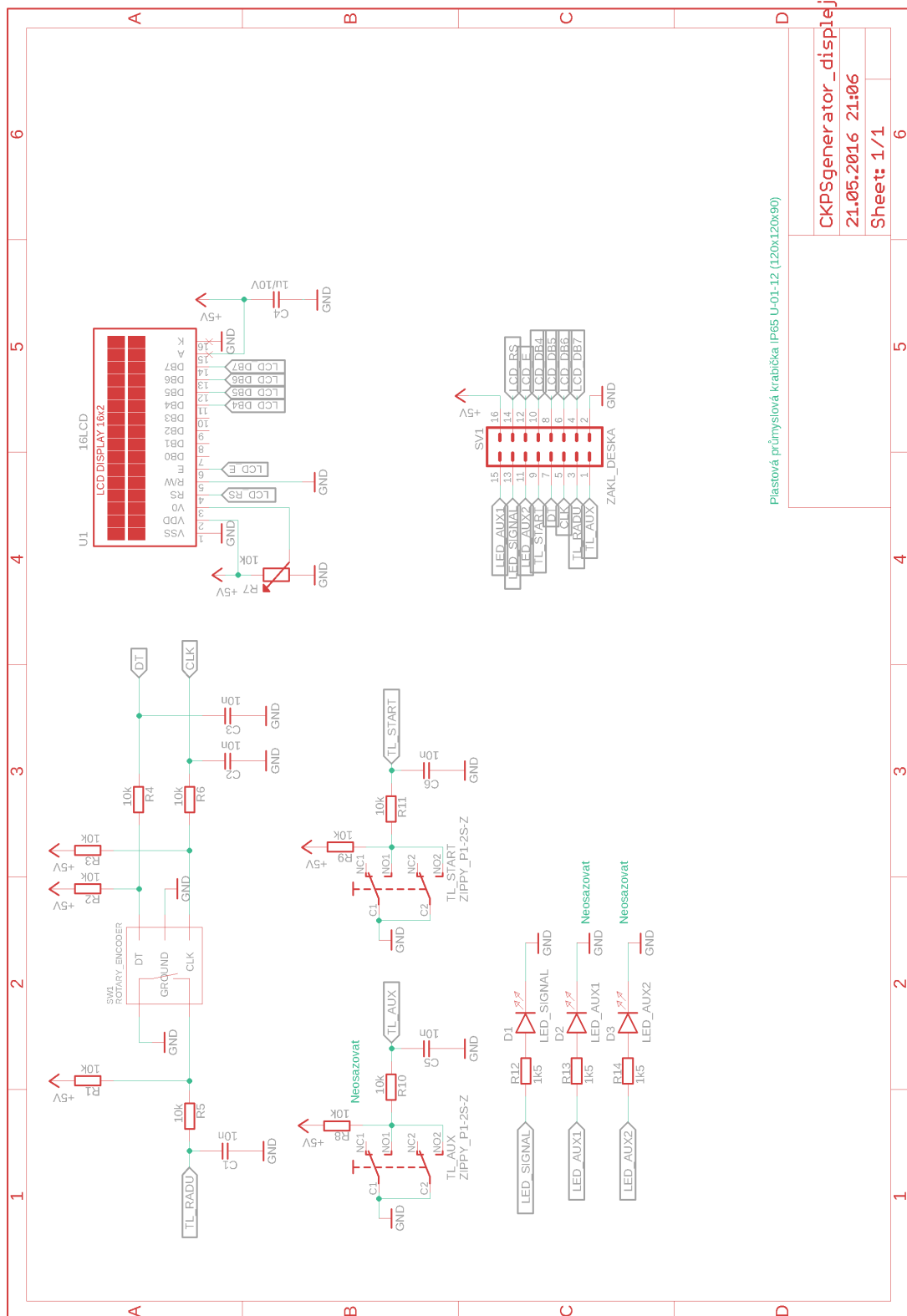
## Citovaná literatura

1. **Robert Bosch, GmbH.** *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics.* Plochingen : Robert Bosch GmbH, 2007. str. 312. ISBN 978-3-658-01783-5.
2. **NINGBO SHUANGZI ENCLOSURE CO., LTD.** Katalogový list Instalační krabice RW-18. [Online] <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.622-997.1.pdf>.
3. **Ribbens, William B.** *Understanding Automotive Electronics.* Oxford : Butterworth - Heinemann, 2012. ISBN: 978-0-08-097097-4.
4. **Robert Bosch GmbH.** *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics.* Plochingen : Robert Bosch GmbH, 2007. str. 310. ISBN 978-3-658-01783-5.
5. **GM Electronic, s.r.o.** E-shop. [Online] <https://www.gme.cz/napajeci-souosy-konektor-ds-026b>.
6. **Robert Bosch, GmbH.** *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics.* Plochingen : Robert Bosch GmbH, 2007. str. 12. ISBN 978-3-658-01783-5.
7. **Robert Bosch, GmbH.** *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics.* Plochingen : Robert Bosch GmbH, 2007. str. 240. ISBN 978-3-658-01783-5.
8. **GM Electronic, s.r.o.** E-shop. [Online] <https://www.gme.cz/nasuvna-vidlice-ptr-stlz950-3g-5-08-v-green>.



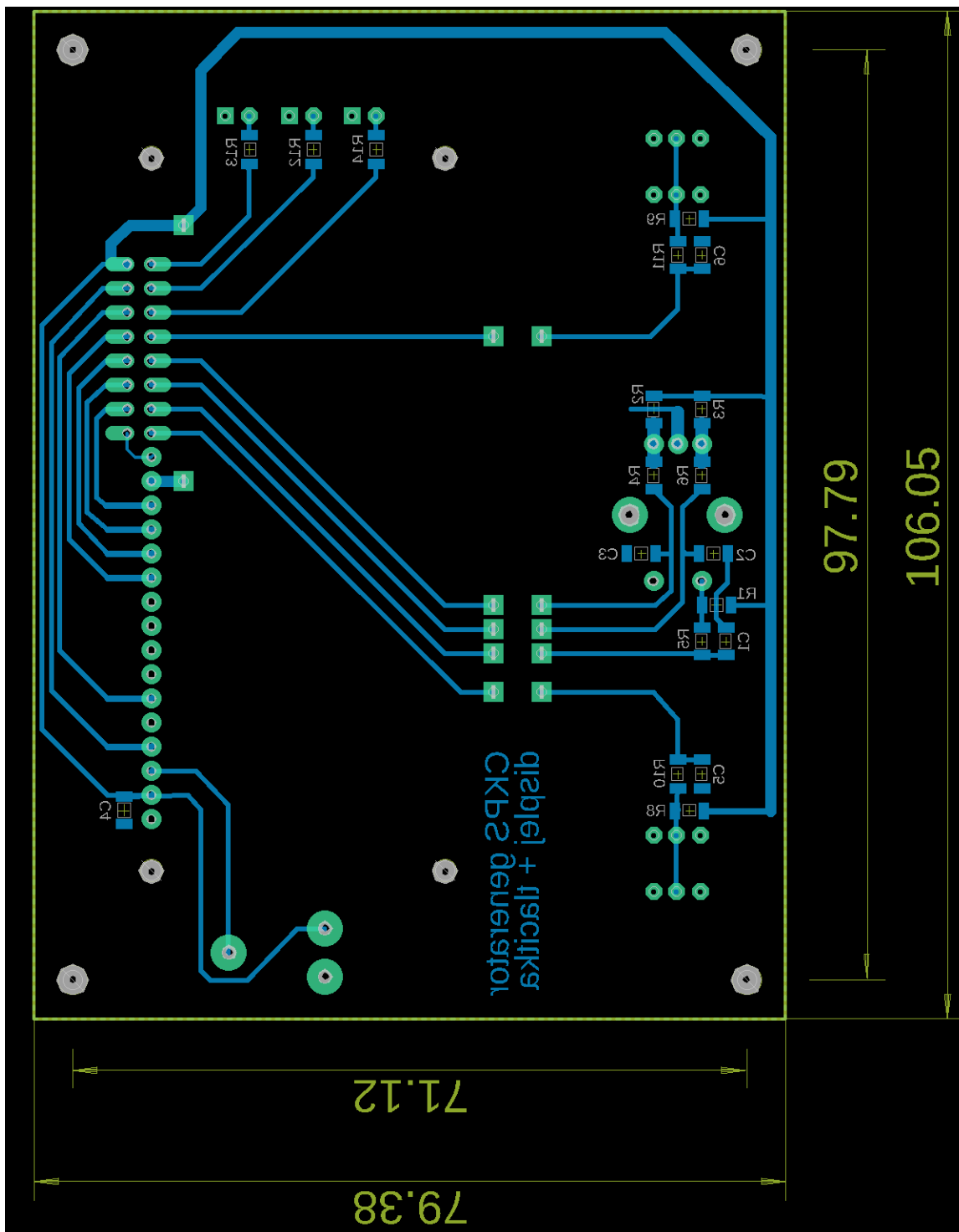
# PŘÍLOHY

Příloha A: Schéma vrchní DPS s názvem "CKPSgenerator\_displej" ze stávajícího zařízení:

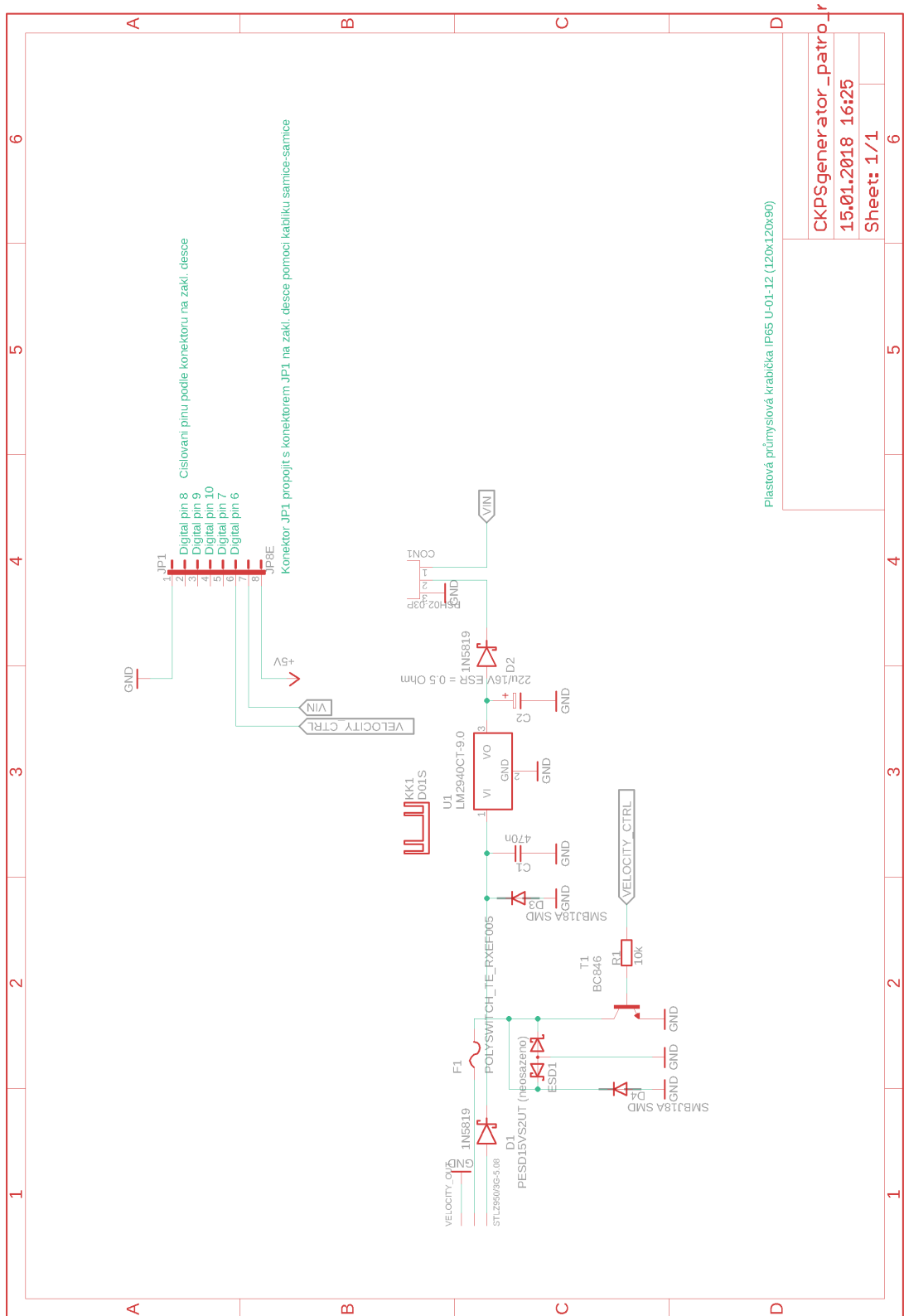


CKPSgenerator\_displej  
21.05.2016 21:06  
Sheet: 1/1

Příloha B: Návrh vrchní DPS s názvem "CKPSgenerator\_displej" ze stávajícího zařízení:



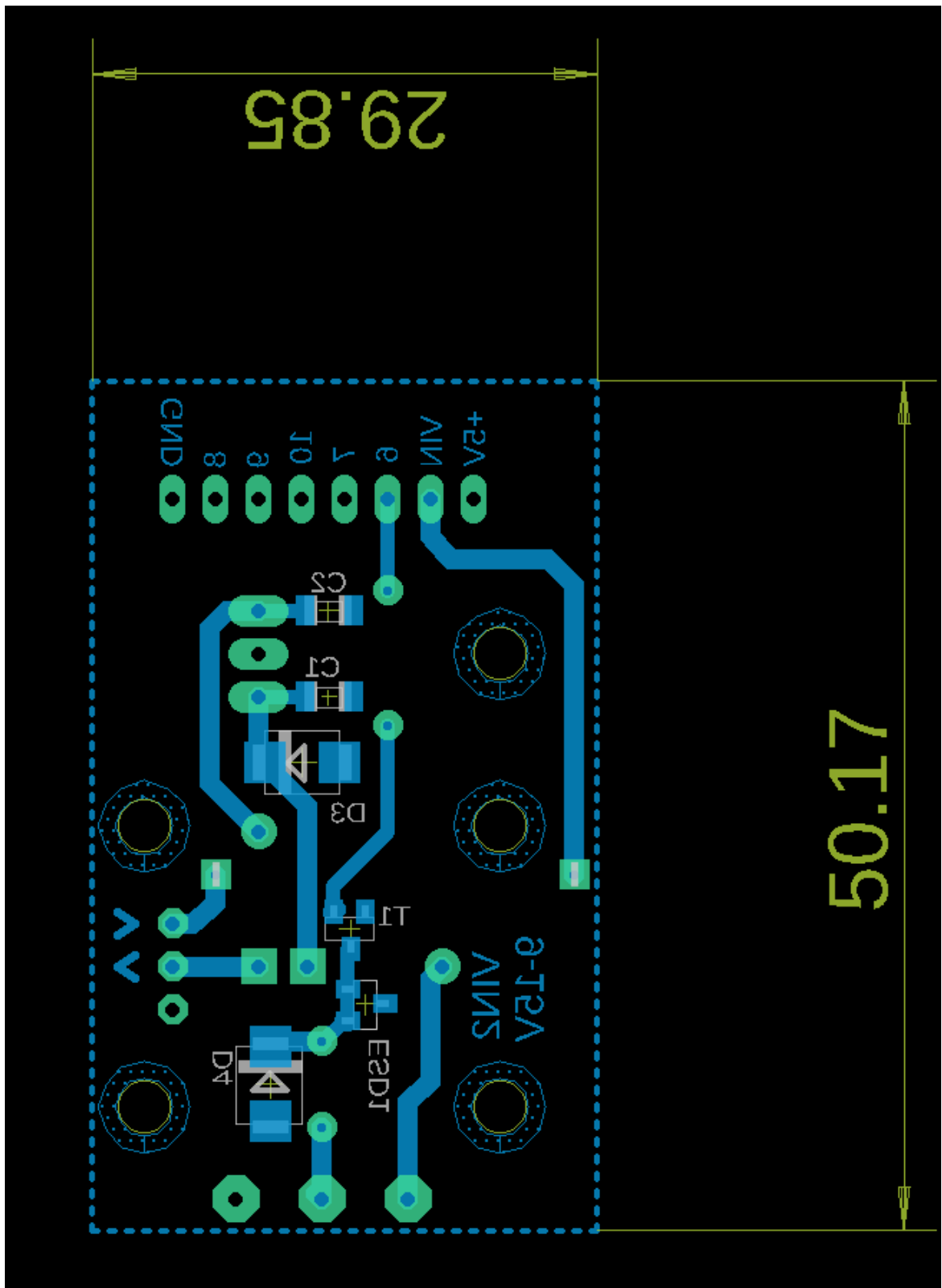
Příloha C: Schéma prostřední DPS s názvem "CKPSgenerator\_patro\_rychlost" ze stávajícího zařízení:



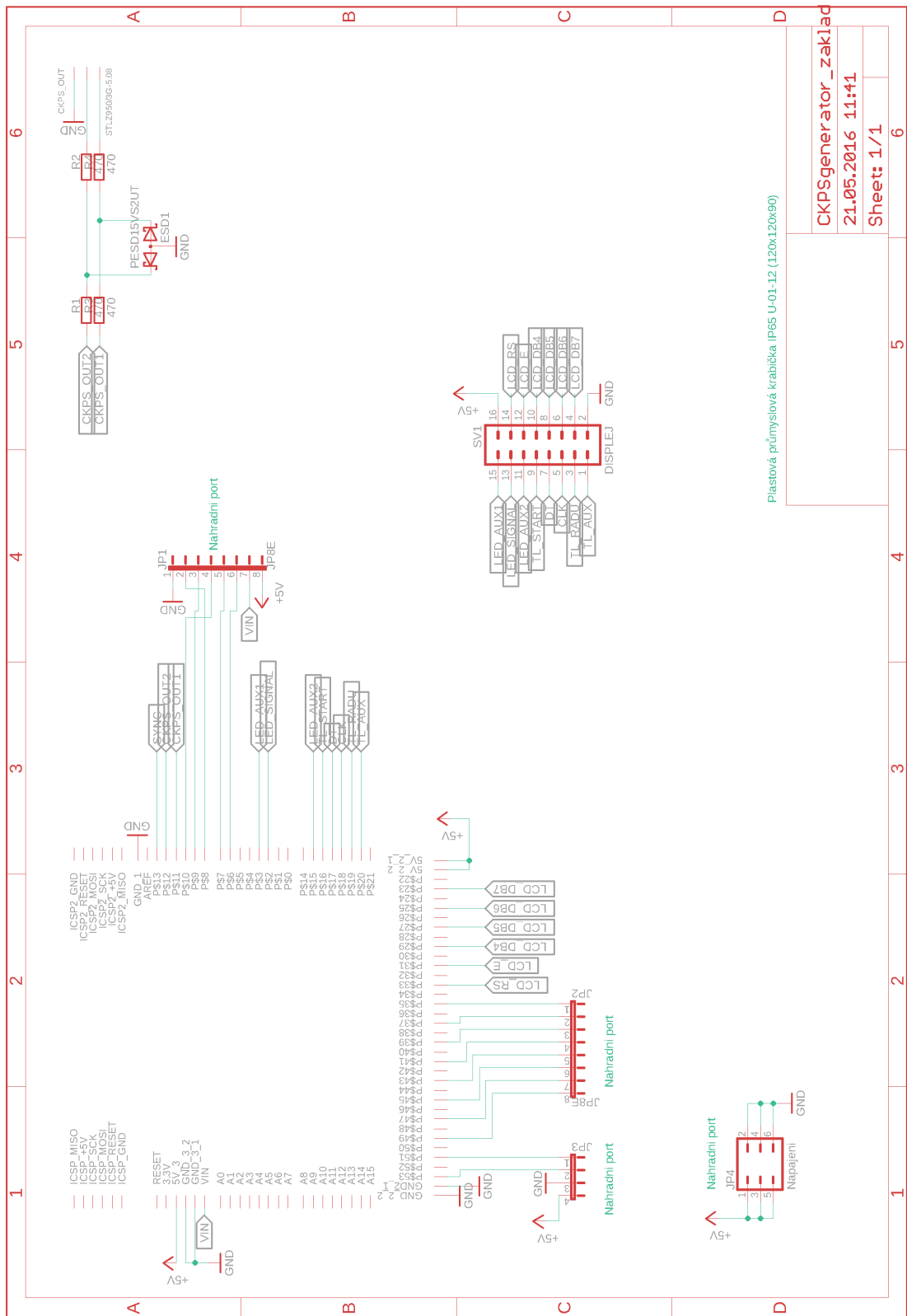
Plastová průmyslová krabička IP65 U-01-12 (120x120x90)

CKPSgenerator_patro_rychlost	6
15.01.2018 16:25	5
Sheet: 1/1	6

Příloha D: Návrh prostřední DPS s názvem "CKPSgenerator\_patro\_rychlost" ze stávajícího zařízení.

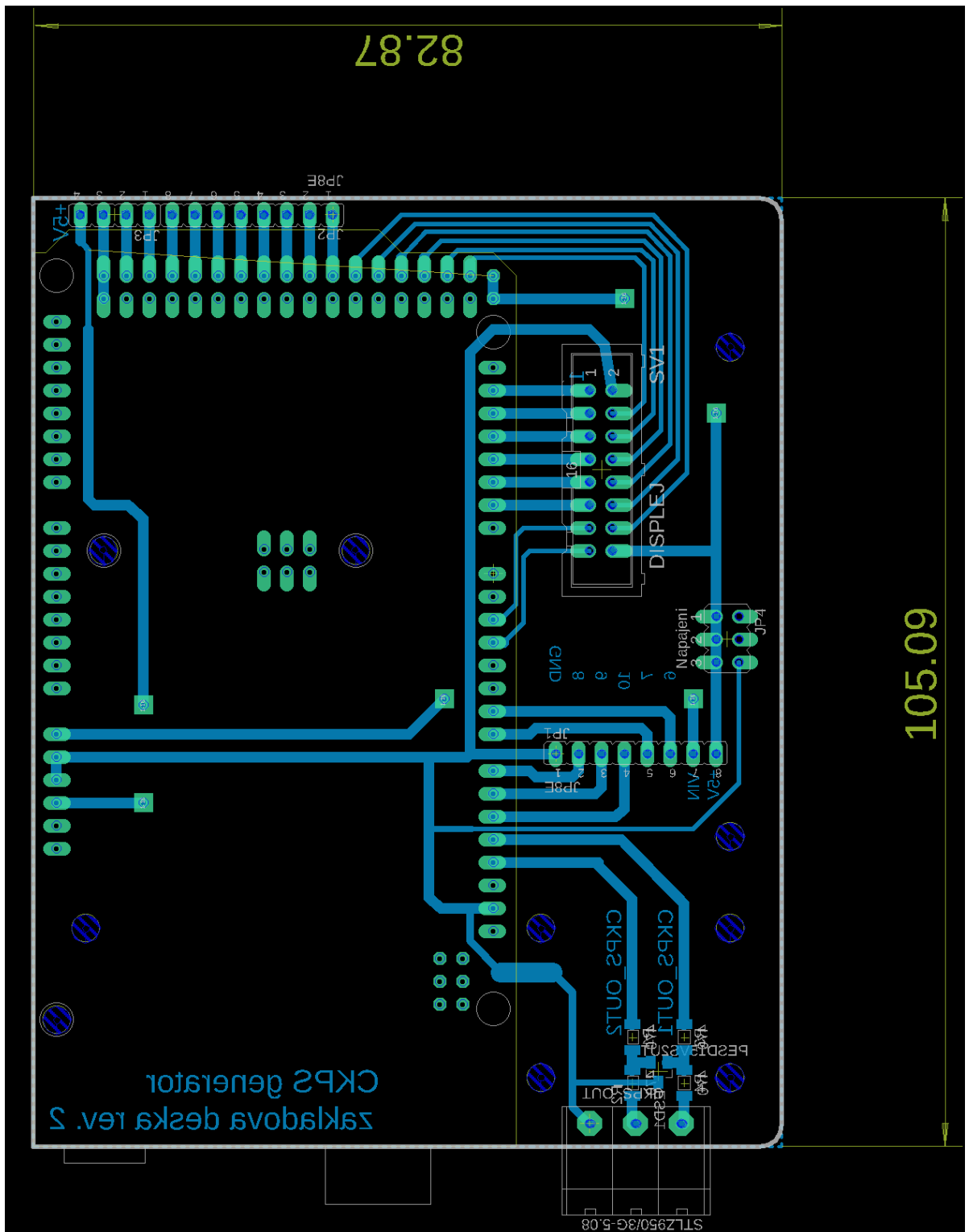


Příloha E: Schéma spodní DPS s názvem "CKPSgenerator\_zaklad" ze stávajícího zařízení:

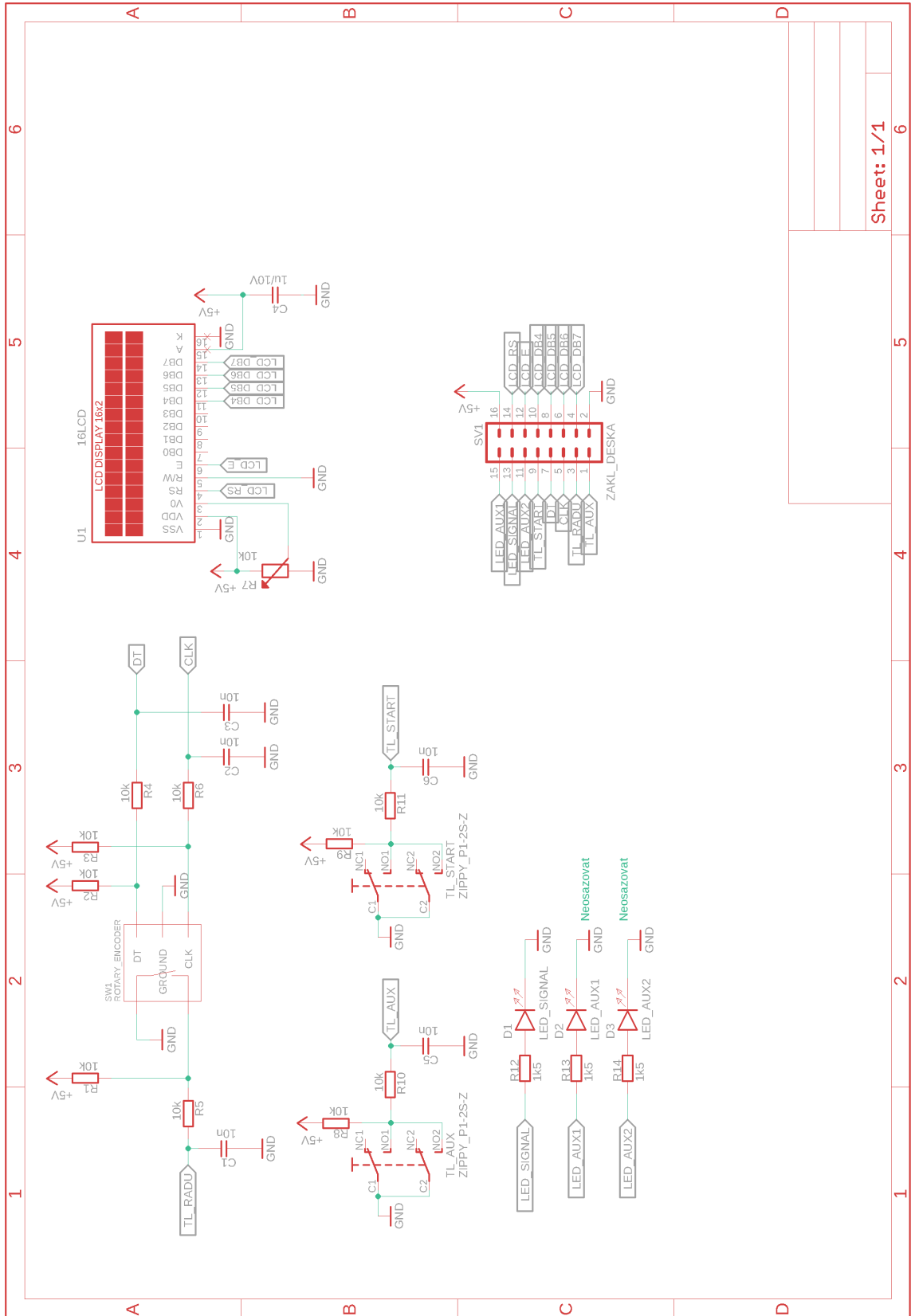


CKPSgenerator\_zaklad  
21.05.2016 11:41  
Sheet: 1/1

Příloha F: Návrh spodní DPS s názvem "CKPSgenerator\_zaklad" ze stávajícího zařízení.

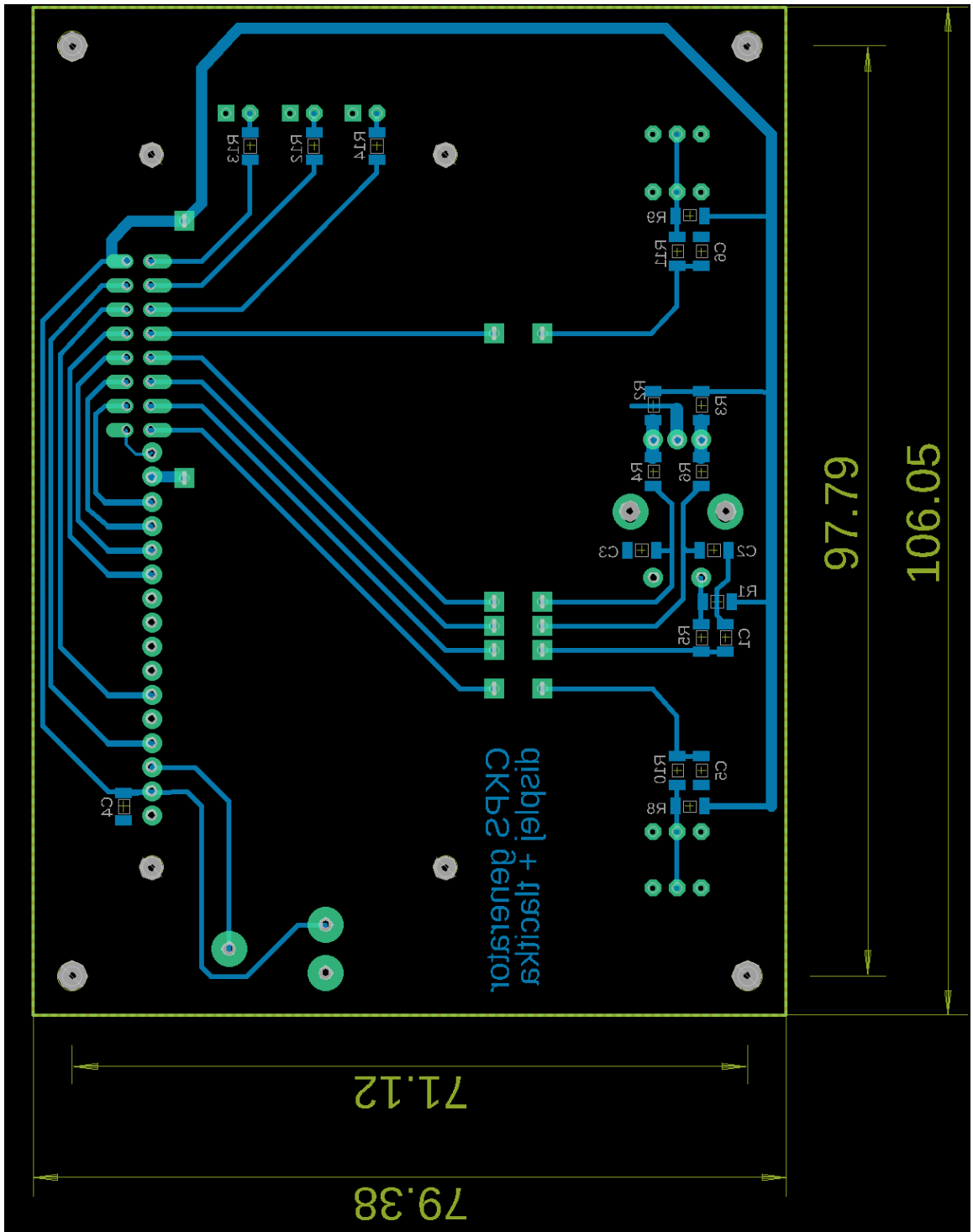


Příloha G: Schéma vrchní DPS s názvem "Generator\_displej" z nového zařízení.



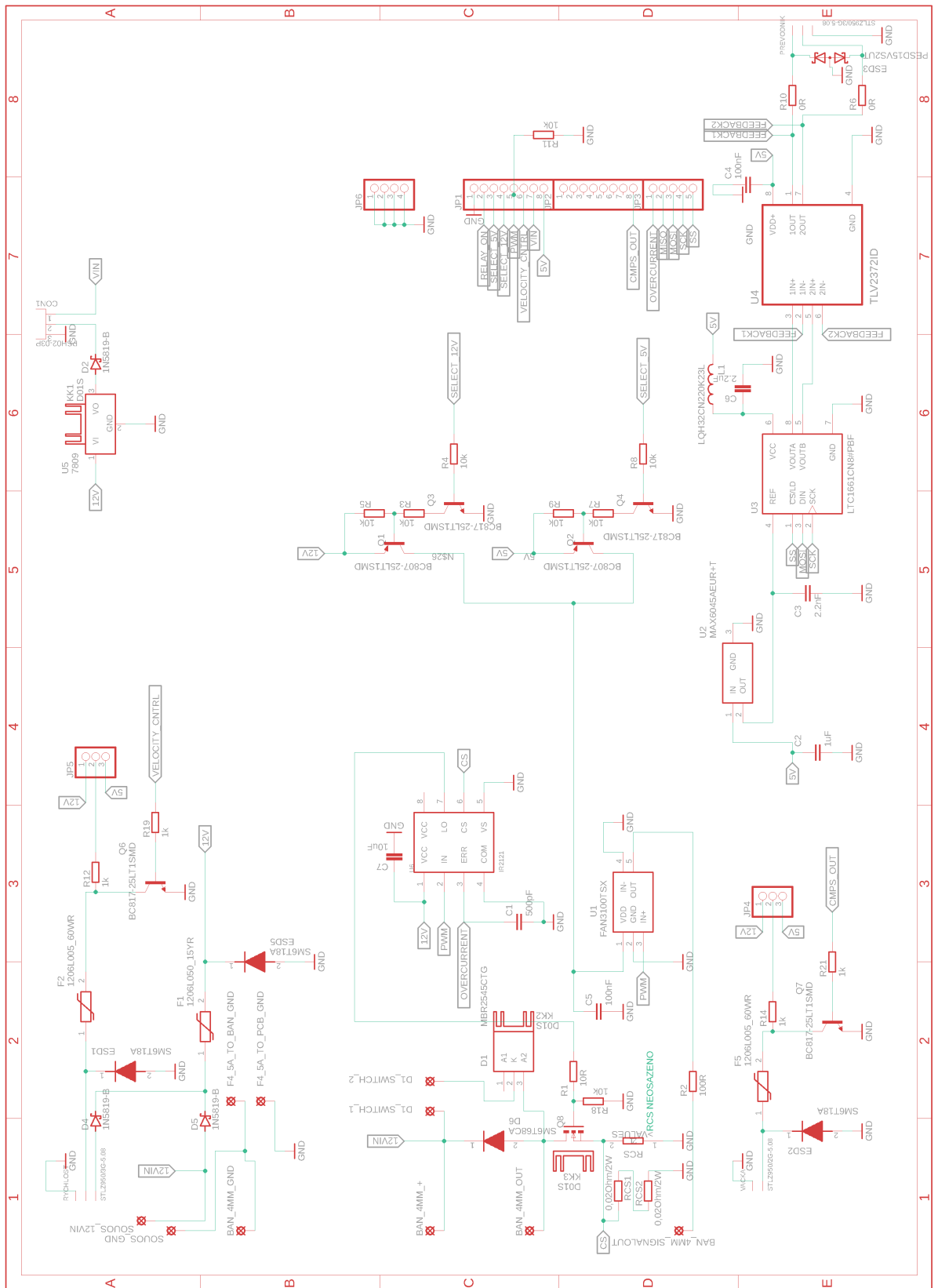
Sheet: 1/1

Příloha H: Návrh vrchní DPS s názvem "Generator\_displej" z nového zařízení:

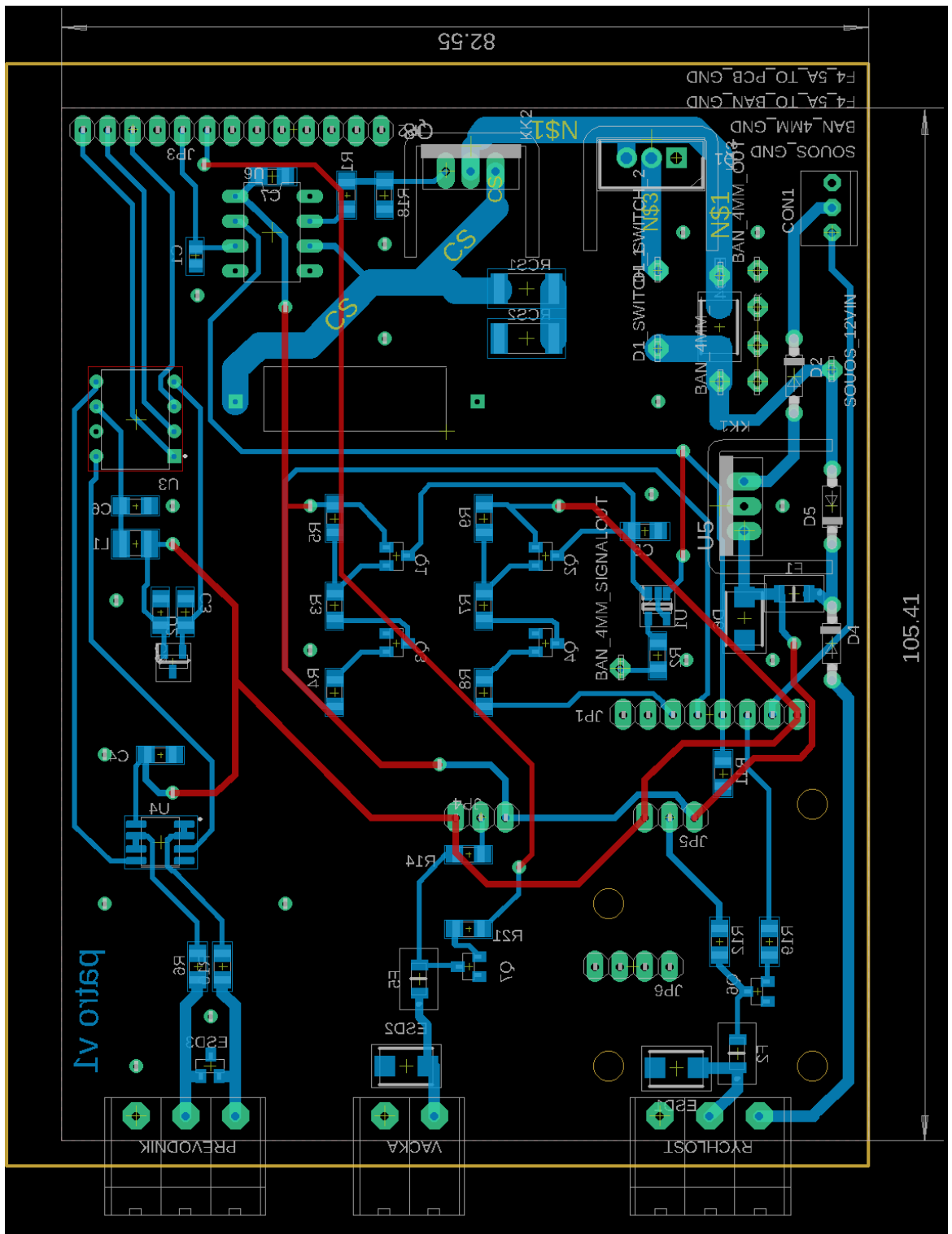




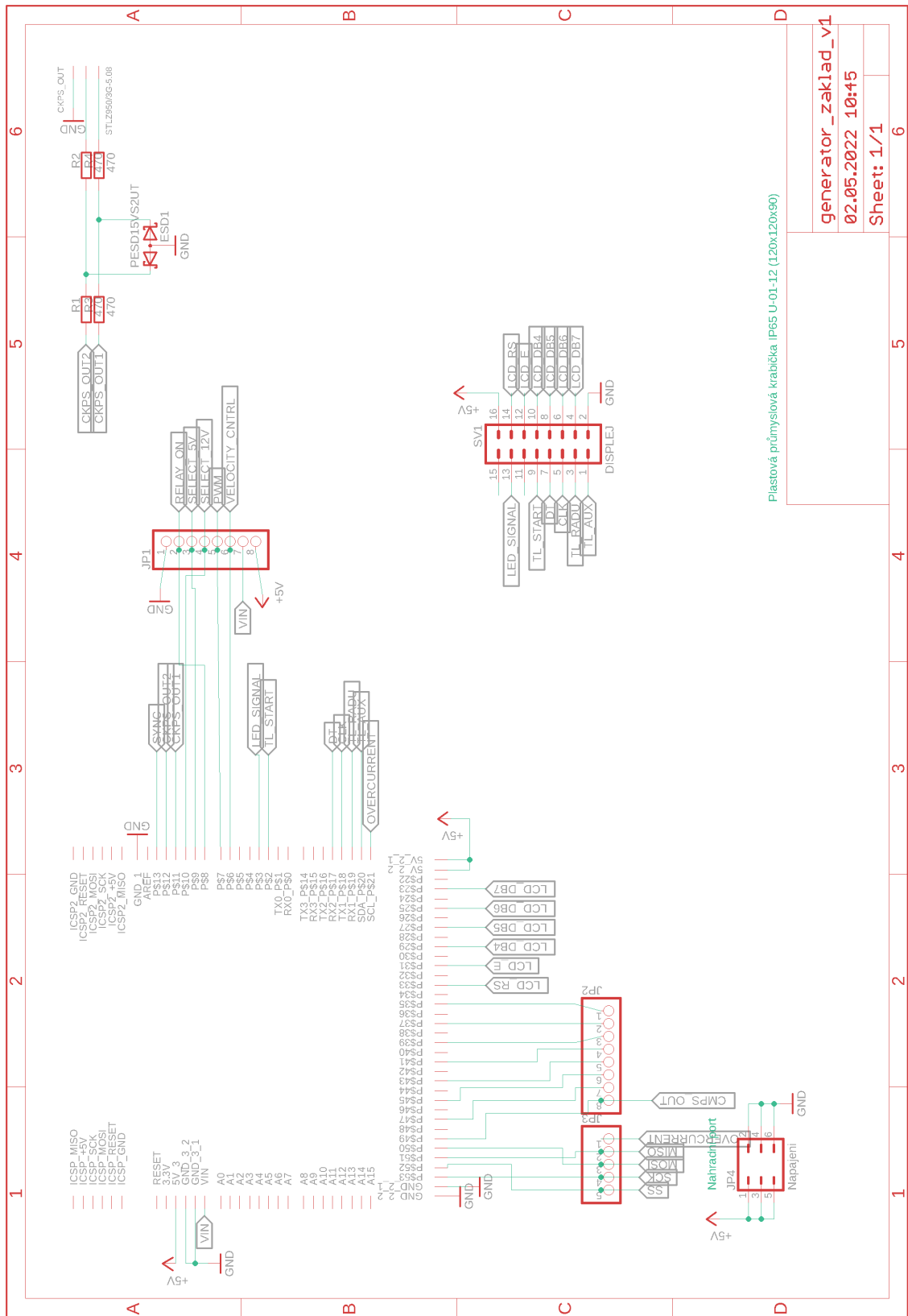
Příloha I: Schéma prostřední DPS s názvem "Generator\_patro" s nového zařízení:



Příloha J: Návrh prostřední DPS s názvem "Generator\_patro" z nového zařízení:



Příloha K: Schéma spodní DPS s názvem "Generator\_zaklad" z nového zařízení:



Plastová průmyslová krabička IP65 U-01-12 (120x120x90)

generator_zaklad_v1	6
02.05.2022 10:45	5
Sheet: 1/1	6

Příloha L: Návrh spodní DPS s názvem "Generator\_zaklad" z nového zařízení:

