



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

NÁVRH PŘÍDAVNÉHO MĚŘÍCIHO A INFORMAČNÍHO SYSTÉMU NA MOTOCYKL

DESIGN OF AN ADDITIONAL MEASURING AND INFORMATION SYSTEM FOR A MOTORCYCLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Švec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D.

BRNO 2025



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Jiří Švec

ID: 247078

Ročník: 3

Akademický rok: 2024/25

NÁZEV TÉMATU:

Návrh přídavného měřicího a informačního systému na motocykl

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vypracujte řešení na přídavné měřicí systémy teploty brzdového systému a motoru a ukazatele zařazené rychlosti u vybraného motocyklu. Na základě získaných informací navrhnete systém pro měření teploty brzd a integrovaný ukazatel zařazené rychlosti. Při řešení vyberte vhodné snímače teploty, metodu jejich uchycení a způsob získání informace o zařazené rychlosti. Všechny zmíněné informace budou zobrazovány na zvoleném displeji. Celý navržený informační systém realizujte a ověřte jeho funkci. Vše zpracujte v bakalářské práci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 10.2.2025

Termín odevzdání: 5.6.2025

Vedoucí práce: Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D.

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem přídavného zařízení ve smyslu doplňkového palubního počítače pro vybraný motocykl Suzuki XF650 FREEWIND z roku 1999. Zařízení měří teplotu brzdových třmenů a hlavy motoru. Dále je zde systém detekce zařazeného rychlostního stupně. Naměřená data se zobrazují na displeji jako dodatečné informace pro řidiče. V práci jsou popsány funkční principy motocyklu pro pochopení účelu práce a komerční řešení dílčích částí systému. Je zde představeno několik způsobů detekce zařazené rychlosti. Dále se práce zabývá úpravou digitálních signálů získaných z kabelového svazku motocyklu. Jsou zde představeny dva funkční prototypy ukazatele zařazené rychlosti. Výsledkem práce je kompletní řídicí jednotka s vlastní navrženou DPS, displejem a potřebnou kabeláží.

Klíčová slova

Termočlánek, palubní počítač, mikrokontrolér, displej, ukazatel zařazené rychlosti, motocykl

Abstract

This thesis focuses on the design of an auxiliary device functioning as an additional on-board computer for a selected Suzuki XF650 FREEWIND motorcycle from 1999. The device measures the temperature of the brake callipers and the cylinder head. Additionally, it includes a system for detecting the engaged gear. The measured data are displayed on a screen as supplementary information for the rider. The thesis describes the functional principles of the motorcycle to provide context for the purpose of the work, as well as commercial solutions for individual parts of the system. Several methods of gear detection are presented. Furthermore, the thesis deals with the processing of digital signals obtained from the motorcycle's wiring harness. Two functional prototypes of a gear position indicator are introduced. The outcome of the work is a complete control unit with a custom-designed PCB, a display, and the necessary wiring.

Keywords

Thermocouple, on-board computer, microcontroller, display, gear level indicator, motorcycle

Bibliografická citace

ŠVEC, Jiří. *Návrh přídavného měřicího a informačního systému na motocykl*. Online, bakalářská práce. Alexandr OTÁHAL (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/168798>. [cit. 2025-06-04].

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Jiří Švec
VUT ID studenta:	247078
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2024/2025
Téma závěrečné práce:	Návrh přídavného měřícího a informačního systému na motocykl

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 5.6.2025

podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval mému vedoucímu semestrální práce Ing. Alexandru Otáhalovi PhD, za cenné rady, odborné vedení a nasměrování během zpracování této práce, stejně jako za pomoc s její formální stránkou. Dále děkuji panu Ing. Pavlu Tomíčkoví za odborné konzultace při vytváření DPS. Děkuji také za konzultaci schématického zapojení panu Ing. Jaroslavovi Jankovskému.

V Brně dne: 5. 6. 2025

podpis autora

OBSAH

OBSAH	5
SEZNAM OBRÁZKŮ	8
ÚVOD	1
1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY MOTOCYKLU	2
1.1 PŘEVODOVKA A ŘAZENÍ	2
1.1.1 Způsob řazení na motocyklu	3
1.1.2 Převodové poměry obecně	3
1.1.3 Převodové poměry ve vybraném motocyklu	4
1.2 CHLAZENÍ MOTORU	4
1.2.1 Chlazení vzduchem s cirkulací oleje	4
1.2.2 Chlazení vodním okruhem	5
1.3 VLIV TEPLoty BRZDOVÉ KAPALINY NA FUNKČNOST BRZD	5
2 DOSTUPNÁ KOMERČNÍ ŘEŠENÍ	6
2.1 UKAZATEL ZAŘAZENÉ RYCHLOSTI	6
2.1.1 Integrované řešení v motocyklech	6
2.1.2 Dodatečné zařízení pro moderní motocykly	6
2.1.3 Dodatečné zařízení pro starší motocykly	7
2.1.4 Řešení v automobilech	7
2.2 ZOBRAZOVÁNÍ TEPLoty MOTORU	8
2.3 ZOBRAZOVÁNÍ TEPLoty BRZDOVÝCH TRŤMENŮ	8
3 MOŽNOSTI ŘEŠENÍ DODATEČNÉHO PALUBNÍHO POČÍTAČE	9
3.1 UKAZATEL ZAŘAZENÉ RYCHLOSTI	9
3.1.1 Snímání polohy řadící páky	9
3.1.2 Otočný potenciometr nebo enkodér	10
3.1.3 Napojení přes diagnostiku přímo k řídicí jednotce	11
3.1.4 Měření frekvence otáčení kola a motoru s následným vyhodnocením	11
3.2 TEPLota MOTORU	11
3.3 TEPLota BRZDOVÉHO TRŤMENU	12
3.4 VÝBĚR MIKROKONTROLÉRU	12
3.5 ZOBRAZOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT	13
4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ A ZVOLENÁ ŘEŠENÍ	14
4.1 BLOKOVÉ SCHÉMA	14
4.2 MĚŘENÍ ZAŘAZENÉ RYCHLOSTI	15
4.2.1 Princip fungování	15
4.2.2 Signál z kabelového svazku motocyklu – otáčky kola	16
4.2.3 Signál z kabelového svazku motocyklu – otáčky motoru	17
4.2.4 Problémy s rušením	18
4.3 VÝBĚR ÚPRAVY SIGNÁLU PŘED VYHODNOCOVÁNÍM	18
4.3.1 Vlastní návrh zapojení s operačním zesilovačem	18
4.3.2 Integrované řešení Schmittova klopného obvodu	20
4.3.3 Využití optočlenu jako oddělovače od rušení	22
4.4 MĚŘENÍ TEPLoty MOTORU	23

4.5	MĚŘENÍ TEPLoty BRZDOVÝCH TŘMENŮ.....	23
4.5.1	<i>Vyhodnocení teploty získané termočlánkem.....</i>	24
5	PROTOTYPY	25
5.1	PROTOTYP UKAZATELE ZAŘAZENÉ RYCHLOSTI NA PRINCIPU DETEKCE POLOHY ŘADÍCÍ PÁKY .	25
5.2	PROTOTYP UKAZATELE ZAŘAZENÉ RYCHLOSTI NA PRINCIPU MĚŘENÍ PŘEVODOVÉHO POMĚRU	26
6	NÁVRH VLASTNÍ DESKY PLOŠNÉHO SPOJE	28
6.1	NÁVRH SCHÉMATU	28
6.1.1	<i>Napájení.....</i>	28
6.1.2	<i>Měření teplot.....</i>	29
6.1.3	<i>Zpracování signálů</i>	30
6.1.4	<i>Připojení displeje k mikrokontroléru</i>	30
6.1.5	<i>Programování ESP32 S3</i>	31
6.1.6	<i>Ostatní.....</i>	32
6.2	NÁVRH DPS	32
6.3	OŽIVENÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY	34
6.3.1	<i>Pájení DPS a konektorů.....</i>	34
7	MECHANICKÉ PROVEDENÍ A KABELÁŽ	35
7.1	MECHANICKÉ PROVEDENÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY.....	35
7.2	UCHYCENÍ DISPLEJE	36
7.3	NAPOJENÍ NA ELEKTROINSTALACI MOTOCYKLU	38
7.4	UCHYCENÍ TERMOČLÁNKŮ	39
8	PROGRAM.....	41
8.1	HLAVNÍ KONSTRUKCE PROGRAMU	41
8.2	OBSLUHA PŘERUŠENÍ	41
8.3	ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ A VYHODNOCENÍ ZAŘAZENÉ RYCHLOSTI.....	41
8.3.1	<i>Nulování hodnot při zastavení motocyklu</i>	41
8.4	ŘÍZENÍ DISPLEJE	42
8.4.1	<i>Komunikace</i>	42
8.4.2	<i>Ovládání.....</i>	42
8.5	MĚŘENÍ TEPLoty.....	42
9	FUNKČNÍ TESTY	43
9.1	STABILIZACE NAPÁJENÍ PŘI ZAPNUTÉM MOTORU	43
9.2	ÚPRAVA DIGITÁLNÍCH SIGNÁLŮ	44
9.2.1	<i>Otáčky motoru.....</i>	44
9.2.2	<i>Detekce zařazeného neutrálu</i>	44
9.3	JÍZDNÍ TEST.....	45
9.3.1	<i>Ukazatel zařazené rychlosti</i>	45
9.3.2	<i>Dosažené teploty motoru a brzd.....</i>	45
9.3.3	<i>Zkouška vodotěsnosti</i>	46
9.3.4	<i>Nastavení pracovních frekvencí</i>	46
10	FINÁLNÍ VZHLED ZAŘÍZENÍ	47
11	ZÁVĚR.....	49
	LITERATURA.....	50

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	52
SEZNAM PŘÍLOH.....	53

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 nákres hnacího ústrojí motocyklu s příčným motorem [1]	3
Obrázek 2 řešení ukazatele od firmy Gipro [15]	7
Obrázek 3 teploměrová nálepka na brzdový třmen [7]	8
Obrázek 4 infračervené teplotní senzory brzdových kotoučů [8]	8
Obrázek 5 poloha řadící páky při řazení dolů	10
Obrázek 6 poloha řadící páky při řazení nahoru	10
Obrázek 7 poloha řadící páky při řazení neutrálu z 1	10
Obrázek 8 poloha řadící páky při řazení neutrálu ze 2	10
Obrázek 9 použitý 3,5“ IPS displej [9]	13
Obrázek 10 blokové schéma zařízení	14
Obrázek 11 schématické znázornění připojení čidla k motocyklu [3]	16
Obrázek 12 přímý výstup ze senzoru otáček předního kola bez úpravy	17
Obrázek 13 přímý výstup z jednotky motoru CDI do palubní desky bez úpravy	18
Obrázek 14 schéma zapojení OZ pro úpravy signálu ze senzoru kola	19
Obrázek 15 výstup z upravovacího obvodu se sledovačem	19
Obrázek 16 schéma zapojení OZ jako sledovač a Schmittův klopný obvod s hysterezí s integračními články pro úpravu signálu otáček motoru z jednotky CDI	20
Obrázek 17 upravený signál z jednotky motoru pomocí vlastního zapojení s OZ	20
Obrázek 18 schéma zapojení integrovaného Schmittova klopného obvodu pro úpravu signálu ze senzoru kola a z CDI (jednotka motoru)	21
Obrázek 19 průběh vyhlazeného signálu ze senzoru kola Schmittovým obvodem	21
Obrázek 20 průběh vyhlazeného signálu z jednotky motoru Schmittovým obvodem	21
Obrázek 21 schéma zapojení Schmittova klopného obvodu a optočlenu pro úpravu signálu z jednotky motoru	22
Obrázek 22 průběh signálu z jednotky motoru po úpravě Schmittovým klopným obvodem a optočlenem	22
Obrázek 23 uchycení termočlánku pro měření teploty motoru u sacích ventilů (vpravo)	23
Obrázek 24 přední brzdový třmen	24
Obrázek 25 zadní brzdový třmen	24
Obrázek 26 prototyp detektoru zařazené rychlosti na principu snímání polohy páky přes hallové sondy	25
Obrázek 27 prototyp detektoru zařazené rychlosti se zobrazováním na TFT displeji a zobrazováním frekvencí a poměru na OLED displeji (vlevo) a generátor frekvence pro simulaci mimo motocykl (vpravo)	27
Obrázek 28 schéma zapojení napájecích obvodů	29
Obrázek 29 schéma připojení termočlánku k měřicímu obvodu	29
Obrázek 30 schéma obvodu upravujícího měřený signál	30
Obrázek 31 schéma připojení displeje k mikrokontroléru i s ochrannými transily	31
Obrázek 32 schéma připojení FTDI programátoru k ESP32 S3	32
Obrázek 33 zobrazení DPS z návrhového prostředí KiCad	33
Obrázek 34 osazená DPS s připravenými konektory na panel a programátor	34
Obrázek 35 umístění řídicí jednotka i s kompletní kabeláží	35
Obrázek 36 návrh horního krytu displeje ve 3D (zobrazení v řezu)	36
Obrázek 37 vložení plexiskla do tištěného dílu	37
Obrázek 38 protikus uchycení displeje ve 3D	37
Obrázek 39 finální uchycení displeje na motocyklu	38
Obrázek 40 příklad napojení vodiče na instalaci motocyklu (červený konektor)	39

Obrázek 41 uchycení termočlásku na zadním třmenu	40
Obrázek 42 uchycení termočlásku na předním třmenu	40
Obrázek 43 uchycení termočlásku pro měření teploty motoru	40
Obrázek 44 časový průběh napětí palubní sítě 12 V	43
Obrázek 45 časový průběh stabilizovaného a sníženého napětí 3,3 V	43
Obrázek 46 časový průběh signálu o otáčkách motoru před úpravou.....	44
Obrázek 47 časový průběh signálu o otáčkách motoru po úpravě	44
Obrázek 48 časový průběh signálu o zařazeném neutrálu před úpravou	45
Obrázek 49 časový průběh signálu o zařazeném neutrálu po úpravě.....	45
Obrázek 50 funkční zařízení při nastartovaném motocyklu a provozních teplotách	47
Obrázek 51 řídicí jednotka pod sedlem motocyklu s kompletním uzavřením (zbývá jen odpojit programátor vpravo).....	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 Převodové poměry ve vybraném motocyklu [3]	4
Tabulka 2 porovnání bodu varu různých typů brzdových kapalin při vlhkém a suchém stavu [5]	5
Tabulka 3 naměřené teploty po zahřívání v garáži (v provozu se teploty mohou lišit)	12
Tabulka 4 experimentálně změřené převodové poměry	15
Tabulka 5 prakticky změřené provozní teploty řídicím systémem	46

ÚVOD

Práce se zabývá konkrétním návrhem řídicí jednotky a displeje. Účelem zařízení je zobrazovat zařazenou rychlost, teplotu brzdových třmenů a hlavy motoru na vybraném motocyklu.

Zvoleným motocyklem je Suzuki XF650 FREEWIND z roku 1999. Disponuje jednoválcovým vzduchem chlazeným motorem. Chlazení motoru je čistě závislé na proudění vzduchu a nemá žádný ventilátor nebo termostat pro regulaci teploty. Při delším stání v teplém období se zapnutým motorem se motor přehřívá, a proto je vhodné sledovat jeho teplotu, aby nedošlo k poškození. Podle toho může řidič na chvíli zastavit a vychladit motor. Ukazatel teploty brzdového třmene je důležitý z hlediska bezpečnosti. Cílem je změřit teplotu co nejbližší brzdové kapalině. Kdyby byla teplota příliš vysoká tak hrozí selhání brzd.

V dnešní době je ukazatel zařazené rychlosti ve vozidlech běžný. V dřívějších dobách tomu tak ale nebylo. Na některé motocykly bylo možné namontovat dodatečný ukazatel. Pro fungování musel motocykl splňovat určité předpoklady jako je elektronický tachometr a elektronický snímač otáček motoru.

Celé zařízení má informativní charakter pro řidiče. Naměřené teploty slouží pro bezpečnost jízdy a motocyklu. Je tedy nutné sestrojít celé zařízení a poté vyhodnotit jakých teplot může dosahovat motor a brzdy při provozu v praxi. Předpoklady těchto teplot vycházejí ze základních principů a měření.

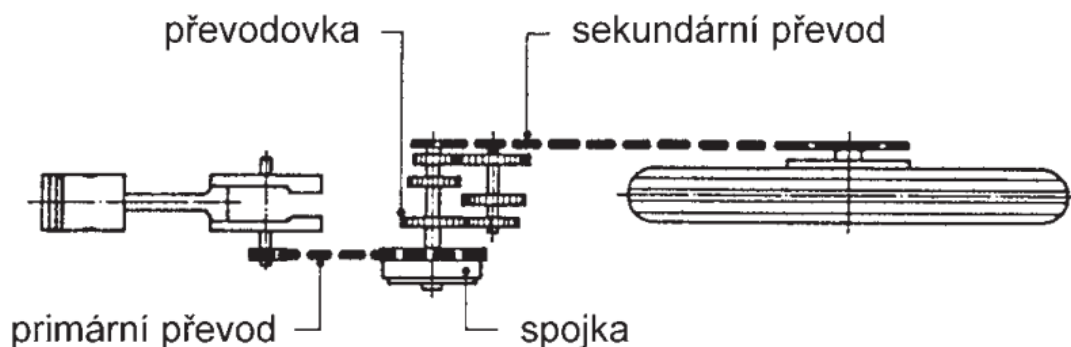
1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY MOTOCYKLU

Pro pochopení účelu a způsobu provedení této práce je nutné nejprve objasnit některé funkční principy.

1.1 Převodovka a řazení

V automobilech osobních i nákladních se používají manuální převodovky nebo různé typy automatických (např. DSG). V motocyklech se setkáváme se sekvenčními (klasické manuální) nebo s automatickými CVT. Ve speciálních případech se začíná experimentovat s automatickými převodovkami s ozubenými koly. V případě automatické převodovky CVT (Continuously Variable Transmission – variátor) je síla přenášena řemenem, který spojuje dvě kuželovité řemenice s proměnnou šířkou, a tím i s proměnným průměrem. Regulace je zajištěna pomocí odstředivých sil, což umožňuje plynulou a automatickou změnu převodového poměru. Díky tomu je spalovací motor schopen vždy pracovat v optimálním výkonovém režimu. Tento typ převodovky se používá například u skútrů nebo automobilů značky Subaru.

Sekvenční převodovka se obvykle skládá ze dvou hřídelí s ozubenými koly (hnaná a hnací). Podle toho, jaká kola jsou mechanicky spojena je dán převodový poměr. Volba převodů se na motocyklu obvykle provádí levou nohou přes řadící páku, která ovládá řadící mechanismus v převodovce. Počet rychlostních stupňů je obvykle 5 nebo 6. Převodovka disponuje primárním převodem. Tím se rozumí stálý převod mezi klikovou hřídelí motoru a vstupem do převodovky. Sekundární převod je převod mezi výstupní hřídelí z bloku motoru a zadním kolem. Existují dvě varianty sekundárního převodu. První a složitější je hermeticky uzavřený kardanový převod. Jeho výhoda spočívá v bezúdržbovosti a spolehlivosti, ale je to složitý mechanismus. Druhou možností je klasický řetěz se dvěma rozetami [1]. Obě varianty mají nějaký konstantní převodový poměr. V případě Suzuki XF 650 Freewind se jedná o 5stupňovou manuální sekvenční převodovku s konstantním primárním převodem a sekundární převod s klasickým hnacím řetězem (viz nákres na obrázku 1).



Obrázek 1 nákres hnacího ústrojí motocyklu s příčným motorem [1]

1.1.1 Způsob řazení na motocyklu

Oproti klasickému „H“ uspořádání u osobních automobilů lze na motocyklu se sekvenční převodovkou řadit pouze postupně a poloha neutrálu se nachází mezi polohou prvního a druhého stupně. Následující způsob řazení je identický pro všechny moderní motocykly. Když je zařazen neutrál tak se pohybem páky směrem dolů zařadí 1 a lze se rozjet (samozřejmě za pomoci spojky). Poté se pákou pohne nahoru a zařadí se 2. Dále se pohybem páky nahoru zařadí další vyšší stupeň. Když je zařazen poslední stupeň a jezdec by chtěl řadit výše, tak by ho páka dál nepustla. Při řazení na nižší stupně se pákou řadí směrem dolů. Neutrál lze zařadit ze 2. a 1. stupně. Například když je zařazen druhý rychlostní stupeň a řidič by chtěl vyřadit na neutrál. Řadící páka se musí dát dolů ale ne úplně, jinak by se zařadila 1. Když se to povede, uvidí svítit kontrolku neutrálu na palubní desce. Při vyřazování z 1 na neutrál se postupuje podobně, ale směrem nahoru.

1.1.2 Převodové poměry obecně

Převodový poměr n udává kolikrát se musí otočit hnací kolo (hřídel), než se jednou otočí to hnané. Při $n = 1$ se otáčejí kola stejnými otáčkami. Při $n > 1$ se hnací kolo točí vyšší rychlostí než hnané a hovoříme o tzv. převodu „do pomala“. Při snížení otáček převodovým poměrem se zvyšuje kroutící moment, ale přenášený výkon zůstává stejný (při zanedbání ztrát převodů). Pro přenesení točivého pohybu z klikové hřídele motoru na zadní kolo je nutné přizpůsobit otáčky. Mezi klikovou hřídelí a vstupem do převodovky je pevný primární převod. Poté následuje řidičem volitelný převod vlastní převodovky a následně pevný sekundární hnaný řetězem. Výsledný převodový poměr otáčení mezi klikovou hřídelí (otáčky motoru) a zadním kolem se získá tak, že se všechny převodové poměry mezi sebou vynásobí [2].

1.1.3 Převodové poměry ve vybraném motocyklu

Podle dokumentů od výrobce jsou v tabulce 1 vypsány jednotlivé převodové poměry [3]. Z nich lze teoreticky vypočítat celkový převodový poměr mezi klikovou hřídelí a zadním kolem podle rovnice (1.1).

$$n_{\text{celkový}} = n_{\text{primární}} * n_{\text{stupeň}} * n_{\text{sekundární}} [-] \quad (1.1)$$

Tabulka 1 Převodové poměry ve vybraném motocyklu [3]

	Převodový poměr n [-]	Výsledný převodový poměr při zařazených rychlostních stupních [-]
Primární převod	2,175	
1. stupeň	2,416	15,060
2. stupeň	1,625	10,129
3. stupeň	1,238	7,717
4. stupeň	1,000	6,234
5. stupeň	0,826	5,149
Sekundární převod	2,866	

Nutno podotknout, že při měření otáček v této práci je měřeno přední 19“ kolo namísto zadního 17“ (tzn. průměr ráfku kola, nikoli průměr reálné pneumatiky). Průměr samotného kola se mění podle spousty parametrů (zatížení, typ pneumatiky, opotřebení, atd.). Mezi koly je tedy určitý převodový poměr, který se obtížně počítá, a proto je důležité změřit jakých výsledných převodových poměrů je dosaženo.

1.2 Chlazení motoru

Při chodu spalovacího motoru vzniká odpadní teplo, které je nutné odvádět. Dále je potřeba udržet teplotu motoru v pracovním rozsahu. Existuje tedy několik způsobů chlazení.

1.2.1 Chlazení vzduchem s cirkulací oleje

Jedná se o starší a jednodušší technologii. Při návrhu chlazení se počítá s určitou rychlostí vozidla. Hovoříme tedy o náporovém chlazení. Při předpokladu stání vozidla na místě může být namontován ventilátor jako nucené chlazení nebo ventilátor spínaný termostatem. Suzuki FREEWIND má jeden válec s žebrováním, který je chlazen pouze náporově. Teplo rozváděno olejem cirkulujícím po celém motoru. Při této příležitosti vyvinul výrobce systém SACS [4]. Jedná se o chlazení oleje tekoucího do hlavy motoru. Olej je chlazen v odděleném chladiči, který je umístěn v náporové části motoru. Ochlazený olej je rozveden do hlavy motoru, kde vzniká nejvíce tepla. Tento systém nemá žádnou teplotní regulaci. Reguluje se jen přirozeně, a tedy při zvýšení teplota se zvýší i přestup tepla do okolí. Důsledkem je kolísání teploty motoru. Při stání v kolonách v letních měsících se motor může přehřívat a jako první se přehřívá hlava motoru spolu s válcem, protože mají menší teplotní setrvačnost než spodní část motoru.

Při přehřívání dochází k nežádoucímu teplotním roztažení komponent hlavy motoru, a tedy změny vůlí např ve vačkových rozvodech. Dále při vysokých teplotách se snižuje viskozita oleje a zvyšuje se jeho degradace. Ideální teplota oleje je 80–110 °C. Pro celý motor jsou ideální podobné teploty. Obecně lze konstatovat, že by teplota motoru neměla překročit 100 °C.

1.2.2 Chlazení vodním okruhem

Vodní chlazení je dokonalejší z hlediska regulace teploty motoru. Celým blokem motoru proudí chladicí kapalina a rozvádí teplo. Voda má větší měrnou tepelnou kapacitu, takže přenese více tepla. Pomocí termostatu je pak voda o regulovaném průtoku přiváděna do chladiče. Kdyby to nestačilo, tak se zapnou ventilátory na chladiči. Systém tedy dokáže udržet konstantní teplotu i při dlouhém stání v koloně a nedojde k přehřátí komponent motoru ani motoru jako celku. Standardní provozní teplota motoru s vodním chlazením je 90 °C.

1.3 Vliv teploty brzdové kapaliny na funkčnost brzd

Při brzdění se veškerá kinetická energie musí přeměnit na teplo v brzdovém systému. Nejteplejší jsou brzdové destičky a kotouče, kde teplo vzniká. Jejich teplota může dosahovat stovek stupňů, ale jsou na to dimenzované. Teplo se postupně rozvede a vyzáří do okolí. Problém může nastat při zahřívání brzdového třmenu. Ten se sice ohřeje až za desítky sekund od zabrzdění, ale při dlouhém či opakovaném brzdění se může zahřát na vysokou teplotu. Kovové části jsou na to dimenzované, ale brzdová kapalina má své teplotní limity. Kapalina do sebe váže vodu a ta rapidně snižuje bod varu kapaliny. Její bod varu závisí na vlhkosti a typu, ale pohybuje se okolo 150 až 250 °C (viz tabulka 2) [5]. Proto je u všech vozidel nařízeno ji měnit nejdéle po dvou letech. Za kritické se považuje obsah vody přes tři procenta. Při překročení bodu varu se začnou tvořit bublinky a dojde k výraznému oslabení funkce systému brzd, což může vést k nehodě. Je tedy důležité hlídat její teplotu a případně upravit styl jízdy. V tomto případě využívá motocykl brzdovou kapalinu typu DOT 4.

Tabulka 2 porovnání bodu varu různých typů brzdových kapalin při vlhkém a suchém stavu [5]

	DOT 3	DOT 4	DOT 5	DOT 5.1
Bod varu – suchá [°C]	205	230	260	260
Bod varu – vlhká [°C]	140	155	180	180

2 DOSTUPNÁ KOMERČNÍ ŘEŠENÍ

Následující kapitola se zabývá seznámením s komerčně vyráběnými řešeními pro motocykly a automobily. Některé prvky jsou již integrované výrobcem. Většina těchto informací se standardně nezískává, pokud se nejedná o závodní speciály nebo moderní stroje.

2.1 Ukazatel zařazené rychlosti

Dříve naprosto neměřený údaj. Až za posledních cca 10 let se spolu s rozvojem displejů ve vozidlech začal tento údaj zobrazovat na palubních deskách. Spousta moderních vozidel jej ale stále nemá. V závodních strojích je tento údaj nepostradatelný, a proto se zobrazuje často jako největší na displeji. Snímače polohy pro identifikaci převodu se v převodovce obvykle nenachází (kromě senzoru polohy neutrálu u motocyklů). Převodový stupeň se tedy musí zpracovávat jiným způsobem.

2.1.1 Integrované řešení v motocyklech

Přibližně od roku 2020 je v moderních motocyklech s digitálními displeji celkem běžné zobrazovat zařazenou rychlost. Výrobce pravděpodobně instaluje do převodovky snímače. Ukazatel tedy funguje i při stání a jedná se tak o nejlepší řešení. Nutností je aby byl motor navržen s čidly polohy.

2.1.2 Dodatečné zařízení pro moderní motocykly

Dříve se montovaly dodatečná zařízení, která obsahují sedmi segmentový displej, ve kterém je integrovaný vyhodnocovací obvod jako je na obrázku 2. Systém získává informace většinou přímo z řídicí jednotky motocyklu přes diagnostický port. Další možností je připojení ke kabelovému svazku. Jelikož motocykly nemají snímače polohy v převodovce, tak se pravděpodobně musí počítat převodový poměr mezi frekvencí otáčení kola a motoru (stejně jako finální řešení v této práci). Zařízení se obvykle vyrábí pro určitou sérii motocyklů jednoho výrobce a je nutné zvolit správné zařízení pro motocykl. Takové zařízení stojí od 1 do 3 tisíc korun. Nejznámějším a nejpoužívanějším řešením je od značky GIPRO, které stojí okolo 3 tisíc korun. Zařízení existuje i pro zvolený motocykl a stojí přibližně 2600 Kč [6].



Obrázek 2 řešení ukazatele od firmy Gipro [15]

2.1.3 Dodatečné zařízení pro starší motocykly

Oproti řešení v předchozí kapitole 2.1.2 je u starších motocyklů problém s absencí elektroniky. Zejména jde o absenci elektronického snímače otáček kola pro rychloměr. V tomto případě se prodávají řešení v podobě umístění magnetu na výplet kola a měřící hallova sonda snímá otáčky kola. Zařízení pak musí získat signál o otáčení motoru. To je podmíněno existencí hallové sondy na klikové hřídeli nebo snímací cívkou. Tyto detekční prvky se zde nachází jen v případě elektronických zapalování CDI. Ta se montují na motocykly od devadesátých let. Pro dřívější motocykly je skoro nerealizovatelné sestavit komerční univerzální ukazatel zařazené rychlosti.

Dalším řešením je pořídit systém detekce rychlosti podle snímání pohybu řadicí páky magnetem a hallovými sondami. Celkově lze konstatovat, že v těchto případech se ukazatel nemontuje vůbec z důvodu složitosti a malé spolehlivosti zařízení. Ani zkušení odborníci s dlouholetou praxí nejsou schopni tyto systémy vyladit do funkčního stavu a málokdy to funguje aspoň trochu, ale spolehlivé to určitě není.

2.1.4 Řešení v automobilech

V případě automatických převodovek se jedná o naprosto nutný údaj a počítá ho řídicí jednotka převodovky. V případě manuálních převodovek je to jen doplňující údaj pro řidiče. Informace může sloužit i pro řídicí jednotku motoru. V praxi bylo vyzkoušeno řešení Škody Octavie čtvrté generace s manuální převodovkou. Pokud je zařazená rychlost a vyšlápnutá spojka a vozidlo je v pohybu, tak se zobrazí zařazený stupeň. Když řidič sešlápne spojku tak ukazatel zmizí. Pokud by na místě řadil rychlosti tak se nic nezobrazí. Z toho lze předpokládat, že se údaj musí vypočítávat na základě poměru frekvence otáčení motoru a kola. Je to tedy řešené pravděpodobně stejným způsobem jako řešení této práce.

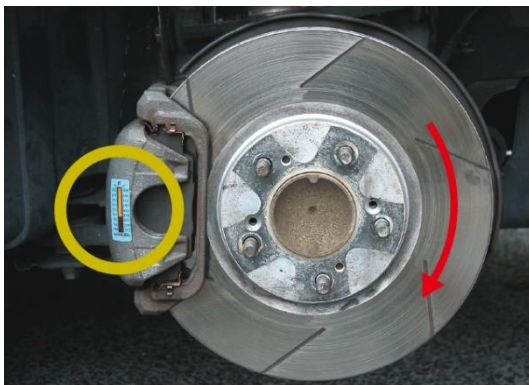
2.2 Zobrazování teploty motoru

V běžných vozidlech se tento údaj měří jen zřídka. Byl zobrazován spíše v dřívějších dobách. Dnes se měří jen u některých vozidel a obvykle se měří teplota chladící kapaliny. Její teplota je většinou zobrazována v podobě čárkových ukazatelů, které znamenají určitou teplotu v rozmezí například 15 °C. Dále se používají analogové ukazatele zobrazující teplotu chladící kapaliny plynuleji, ale přesný údaj o teplotě nenabízí. Z naměřených údajů se obvykle pozná, zda je motor studený, teplý, nebo došlo k poruše systému a přehřívá se. Teplota oleje se měří jen u malé části vozidel a u motocyklů téměř vůbec. Přitom jeho teplota je kritická pro správnou funkčnost motoru.

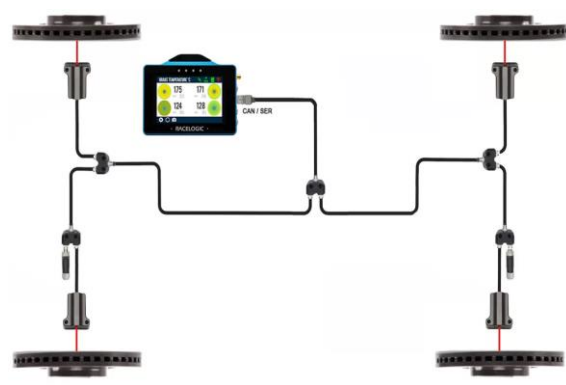
Teplota chladící kapaliny po studeném startu vystoupá na 90 °C během pár minut, ale olej může být studený relativně dlouho. V praxi je známé, že se olej zahřeje na provozní teplotu až po cca 15 minutách v závislosti na okolní teplotě a účinnosti motoru. Při vysokém zatížení motoru se může olej přehřívat, a to je pro motor nežádoucí.

2.3 Zobrazování teploty brzdových třmenů

V běžné praxi se tento údaj neměří vůbec. Měřeným se stává v závodních speciálech. Na internetu lze pořídit dva typy měřidel. Jedním je jednoduchá nálepka (viz obrázek 3), která se nalepí na brzdový třmen [7]. Podle toho, kam až se změní barva na stupnici lze manuálně odečíst teplotu. Sofistikovanějším řešením je infračervené měření teploty brzdových kotoučů se zobrazením na displeji (viz obrázek 4) [8]. Toto řešení se údajně používá i v závodech Formule 1 a MotoGP. Na některých silničních motocyklech může být příprava od výrobce k namontování těchto čidel. Závodní týmy mohou z naměřených dat analyzovat styl jízdy a analyzovat svoje výkony. V praxi se s těmito senzory setkat příliš nelze, protože jsou velice drahé a složité.



Obrázek 3 teploměrová nálepka na brzdový třmen [7]



Obrázek 4 infračervené teplotní senzory brzdových kotoučů [8]

3 MOŽNOSTI ŘEŠENÍ DODATEČNÉHO PALUBNÍHO POČÍTAČE

Zařízení bude pracovat jako celek obsahující řídicí jednotku s konektory a displej. Jednotlivé získané údaje se budou zpracovávat řídicí jednotkou v pomocných obvodech a následně mikrokontrolérem.

3.1 Ukazatel zařazené rychlosti

Naprostá většina motocyklů, včetně zvoleného, neobsahuje přímé senzory zařazených rychlostních stupňů. Jediný senzor uvnitř motoru je senzor polohy neutrálu, který je nezbytný pro ovládání motocyklu. Proto lze vymyslet několik způsobů, jak tento údaj získat.

3.1.1 Snímání polohy řadící páky

Na páku se umístí malý neodymový magnet. K motoru (rámu motocyklu) se vytvoří uchycení na 2 až 4 hallové sondy. Hallova sonda reaguje na přítomnost magnetického pole a má digitální výstup (log 0/1). V klidové poloze by se magnet nacházel mezi sondami a při řazení by se magnet přiblížil k jedné nebo druhé sondě. Podle toho lze detekovat řazení nahoru nebo dolů. Problém je s vyřazováním do neutrálu. Poloha páky dosahuje jen o trochu menší výchylky než při řazení rychlosti, což se špatně detekuje. Přesné polohy, kdy se pákou řadí nahoru/dolů nebo se vyřazuje na neutrálu jsou shrnuty na obrázcích 5, 6, 7 a 8. Řešení tohoto problému by bylo možné pomocí několika variant.

První variantou je přidání dalších dvou sond pro přesnější detekování polohy. Problém je, že magnet je detekován při přiblížení na 1 cm, a tudíž je zde problém s přesností. Musely by se sondy umístit co nejdál od osy otáčení pro největší výchylku páky. Dále je zde problém s přesným nastavením vzdáleností, rozsah teplot používání a vibrace.

Druhá robustnější a jednodušší možnost je detekovat z kabelového svazku signál spojený s kontrolkou neutrálu. Motocykl má v převodovce zabudované čidlo neutrálu, které je důležité jako indikace pro řidiče. Tuto indikaci má každá ne příliš stará motorka a nebylo by těžké to najít. Zařazená rychlost by se detekovala podle polohy páky a zároveň pokud by se místo řazení z 1 na 2 zařadil neutrálu, tak by se to detekovalo z onoho signálu a na displeji se zobrazil neutrálu. Ukázka prototypu je v kapitole 5.1.



Obrázek 5 poloha řadící páky při řazení dolů



Obrázek 6 poloha řadící páky při řazení nahoru



Obrázek 7 poloha řadící páky při řazení neutrálu z 1



Obrázek 8 poloha řadící páky při řazení neutrálu ze 2

3.1.2 Otočný potenciometr nebo enkodér

Jednalo by se o podobný způsob jak v případě kapitoly 3.1.1. Řadící páka je umístěná na čepu a pohybuje se v jeho ose vůči motoru a rámu. Na čep by se vytvořil pomocí 3D tisku nástavec. Proti němu by byl umístěn potenciometr nebo rotační enkodér s jemným krokem. Enkodér má ale standardně hrubé rozlišení a musel by se najít nějaký opravdu jemný. Potenciometr by fungoval dobře, ale má omezenou životnost a hodnota odporu je závislá na teplotě. Všechny zmíněné limitace jsou klíčové pro již zmíněnou detekci neutrálu, kdy se páka pohybuje téměř do stejné polohy jako při řazení. Dalším problémem jsou vibrace. Mohlo by dojít ke kmitání kolem určitých poloh a mohlo by dojít ke klamným indikacím řazení. V tomto případě se jedná o jednoválcový motor, který produkuje sám o sobě spoustu vibrací. Toto řešení se jeví jako málo výhodné, ale realizovat by šlo.

3.1.3 Napojení přes diagnostiku přímo k řídicí jednotce

Je to nejrozšířenější řešení pro dodatečné namontování zařízení a také nejjednodušší v praxi. Pro realizaci by bylo nutné mít modernější motocykl s diagnostickým portem a řídicí jednotkou vozidla. Dále by byl problém s komunikací, protože jednotka by podporovala neznámé protokoly komunikace, ke kterým by zcela jistě nebyl přístup pro veřejnost. Pokud by se povedlo rozklíčovat data, tak by šlo podle frekvence otáčení předního kola a motoru (oba signály na motocyklu existují) spočítat poměr otáček a určit který převodový stupeň je zařazen.

V tomto konkrétním případě toto řešení sestrojít nelze. Motocykl disponuje pouze řídicí jednotkou motoru CDI, která nemá žádný port pro diagnostiku. Ono by ani nebylo co diagnostikovat, protože motocykl není vybaven žádnou elektronikou ani kontrolkami.

3.1.4 Měření frekvence otáčení kola a motoru s následným vyhodnocením

V tomto případě se jedná o asi nejlepší možné řešení. Princip je založen na teorii převodových poměrů [2]. Stačí jen získat zpracovatelné signály frekvence otáčení kola a motoru a následně je převést na frekvence a vypočítat poměr těchto frekvencí. Výsledkem by byl poměr otáčení motoru ku otáčení kola, který bude konstantní pro celý rozsah otáček motoru a daný převodový stupeň.

Základním předpokladem je, že motocykl disponuje elektronickým zpracováním otáček předního kola a motoru. Tento údaj motocykl potřebuje pro zpracování údaje o rychlosti a otáčkách pro zobrazování na digitálním displeji. V tomto případě je motocykl vybaven elektronickým snímačem otáček kola a snímací cívkou pro získání otáček motoru. Toto řešení je asi nejelegantnější, a proto bylo zvoleno jako finální. Ukázka prototypu je v kapitole 5.2.

3.2 Teplota motoru

V případě chlazení vzduchem je motor ohříván nerovnoměrně a neregulovaně, protože olej má menší tepelnou kapacitu než voda a je ho tam méně. V motoru vznikají teplotní gradienty, kde nejvíce tepla vzniká ve válci a hlavě motoru. V našem případě je cílem získat teplotu s malou setrvačností, tedy rychlou odezvou. Proto bylo zvoleno měření teploty hlavy motoru.

Experimentálně bylo provedeno měření v chladné bezvětrné garáži (viz tabulka 3 níže). Motor byl z počátku vlažný a poté běžel několik minut, než proběhlo měření. Teplota nejteplejších částí rychle klesá, jak se teplo rozvádí po motoru. Nejmenší setrvačnost má prostor okolo svíčky. Naopak největší je okolo převodovky, která negeneruje tolik tepla a má velkou tepelnou kapacitu. V praktickém provozu v letních měsících se teplota vyšplhá do vyšších hodnot. Je tedy nutné provést měření při okolní teplotě vyšší než 30 °C a popojíždění v koloně.

Tabulka 3 naměřené teploty po zahřívání v garáži (v provozu se teploty mohou lišit)

Místo měření	Teplota [°C]	Poznámky k místu měření
Prostor u svíčky	170	Malá setrvačnost – nejbliže zdroji tepla
Hlava motoru – sání	118	Ochlazováno nasávaným vzduchem
Hlava motoru – výfuk	130	Z přední strany motocyklu
Ventilové víko sací	113	Zadní strana – závětrné místo
Ventilové víko výfukové	110	Chlazeno náporem vzduchu
Válec motoru	116	Vzniká zde teplo, ale je chlazen zbylým motorem
Blok motoru	70	Velká setrvačnost
Převodovka	55	Nejdále od vzniku tepla

Vzhledem k nejistotě maximální teploty, která by mohla dosahovat 200 °C se nabízí zvolit měření termočlánkem nebo odporovým kovovým snímačem (např PT100). Ostatní senzory jsou většinou do 150 °C. Pro celistvost zařízení je vhodné mít stejný typ senzoru pro měření teploty motoru a brzd. Zvolen byl termočlánek typu K. Na přesnosti měření zas tolik nezáleží, protože chceme indikovat s přesností na jednotky stupňů celsia.

3.3 Teplota brzdového třmenu

Měřit přímo teplotu kapaliny by bylo možné v komerční praxi, kdy by se mohl definovaně umístit senzor do prostoru, kde se kapalina nachází uvnitř třmenu. V tomto případě je vyloučeno, jakkoliv zasahovat do kanálků systému, a tedy jediná možnost je měřit co nejbliže ke kritickému místu zvenčí třmenu. Čidlo se musí umístit k vnější straně pístku v závětrné oblasti. Naměřená teplota by se neměla příliš lišit od reálné teploty kapaliny. Očekává se zkreslení v řádu jednotek stupňů celsia, ale ověření je nerealizovatelné.

3.4 Výběr mikrokontroléru

Prozatím byly prototypy řízeny pomocí ESP32. Další možností je využít například STM32F4. Podmínkou je podpora RTOS pro kvalitní řízení programu a podpora hardwarových přerušení. Dalším požadavkem je vysoká rychlost, protože se pracuje s desetinnými čárkami v polích. Je potřeba i dostatek paměti pro ovládání displeje. Při využití ESP32 je k dispozici rozšíření o bezdrátové komunikace například s mobilním telefonem pro záznam hodnot. Při návrhu DPS bude nutné počítat s velkou mírou EMC rušení.

Pro realizaci této práce byl vybrán modul s mikrokontrolérem ESP32 S3 WROOM 1U N16R8. Má naprosto dostatečný výkon a paměť. Pro případné budoucí rozšíření je zde možnost připojení externí antény. Integrovaná anténa by zde nemohla fungovat, protože DPS je uložena v kovovém boxu.

3.5 Zobrazování naměřených hodnot

Pro zobrazení naměřených teplot třmenů, motoru a zařazené rychlosti bude sloužit grafický displej (na obr. 13). Na vytvořeném prototypu (27) byl použit 1,8palcový TFT displej. Ve finálním zařízení musí být displej větší, aby data byla čitelná za jízdy. Zvolen je SPI displej s řadičem ST7796 o velikosti 3,5 palce [9]. Displej bude umístěn na řídítkách motocyklu a s řídicí jednotkou bude komunikovat pomocí stíněného F/UTP kabelu. Napájen bude přes 3,3 V, ale v případě jiného displeje je zde možnost napájet i 5 V (propojka na DPS).



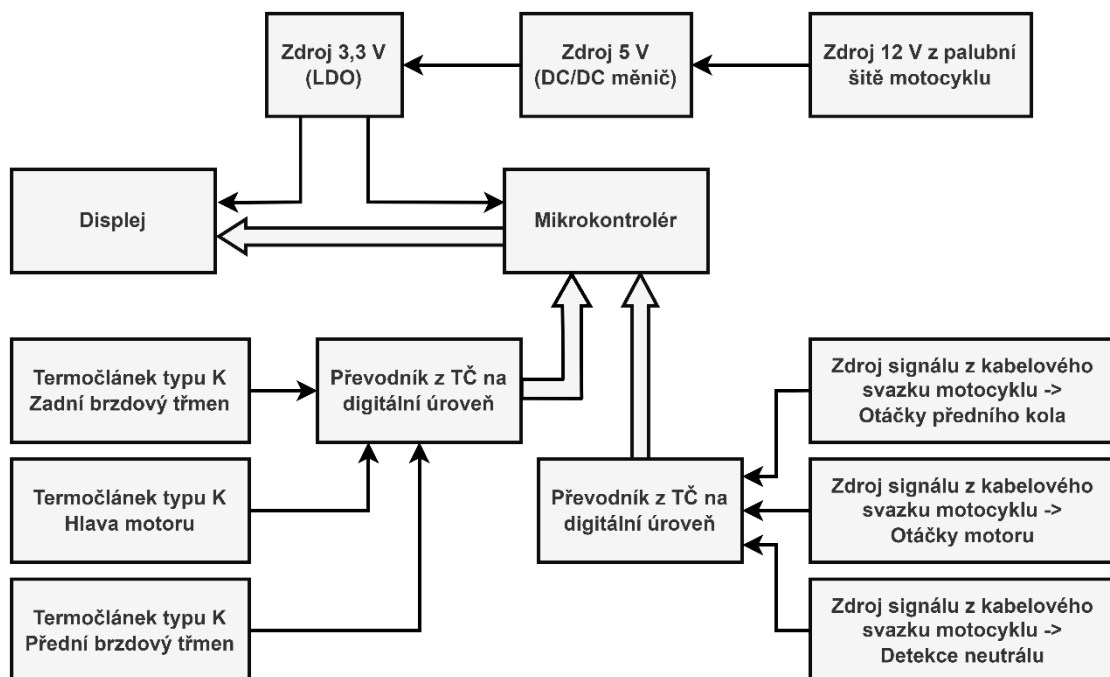
Obrázek 9 použitý 3,5“ IPS displej [9]

4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ A ZVOLENÁ ŘEŠENÍ

V této kapitole jsou popsána řešení, ze kterých vychází zpracování bakalářské práce. Měření časových průběhů bylo provedeno osciloskopem UNI-T UTD2025C 2100000664 zapůjčeného od VUT.

4.1 Blokové schéma

K základnímu popisu stačí blokové schéma zobrazené níže na obrázku 10. Do řídicí jednotky jsou přivedeny tři termočlánky. Poblíž konektoru je umístěn měřicí integrovaný obvod MAX31855KASA, který pomocí SPI sběrnice komunikuje s mikrokontrolérem. Do jednotky jsou přivedeny signály z kabelového svazku motocyklu. Následně jsou upraveny a přivedeny do mikrokontroléru. Jsou to signály s frekvencí otáčení předního kola, motoru a detekce neutrálu. Ty se musí vyhladit od rušení a převést na logické úrovně 3,3 V. Mikrokontrolér vyhodnocuje jejich frekvenci a následně počítá převodový poměr. Naměřené a vypočítané údaje se zobrazují na displeji. Na blokovém schématu je znázorněn také způsob napájení.



Obrázek 10 blokové schéma zařízení

4.2 Měření zařazené rychlosti

Následuje podkapitola zabývající se detailním popisem vycházejícím z kapitoly 3.1.4.

4.2.1 Princip fungování

Zvolené řešení je čistě dle autorova návrhu, které vychází ze zamyšlení nad principy převodových poměrů. Poměr otáčení udává převodový poměr. Ten je z části neměnný (stálý) a z části je volen řidičem (řazení v převodovce). Výsledný poměr otáček motoru vůči otáčení kola je dán vynásobením všech převodových poměrů mezi nimi. Při určitém poměru, a tedy při jedné zařazené rychlosti platí, že když se motor otočí jednou, tak se kolo otočí o určitou část otáčky. Pokud se motor otočí dvakrát, tak se kolo otočí o dvě tyto určité části otáčky. Z toho vyplývá, že otáčky motoru jsou v celém svém rozsahu ve stejném poměru k otáčkám kola. Stačí tedy spočítat poměr mezi frekvencí otáček motoru a kola. Výsledkem je převodový poměr, který bude konstantní pro jednu zařazenou rychlost v celém spektru otáček motoru. Motocykl má 5 rychlostních stupňů a výsledkem je tedy 5 převodových poměrů získaných měřeními. Pro ověření lze spočítat teoretické poměry udávané výrobcem uvedené v tabulce 1 [3]. Je ale nutné uvážit přepočítání mezi poměry velikostí předního a zadního kola.

Ze získaných převodových poměrů, které jsou v nějaké toleranci z důvodu nepřesnosti měření a kolísání otáček, lze pomocí náhledové tabulky v programu určit jaký rychlostní poměr je zařazen. Hodnoty poměrů experimentálně změřených jsou v tabulce 4 níže. Změřené poměry odpovídají vypočítaným. Rozdíl mezi vypočítaným a změřeným poměrem je způsoben převodovým poměrem mezi předním a zadním kolem. Odchyłka je způsobená snížením obvodu pneumatik opotřebením. Změřené poměry jsou tedy nepatrně vyšší než vypočítané.

Tabulka 4 experimentálně změřené převodové poměry

Rychlostní stupeň	1	2	3	4	5
Spodní mez změřeného poměru	15,4	10,3	7,7	6,2	5,3
Horní mez změřeného poměru	15,7	10,6	8	6,4	5,4
Teoretická hodnota z výpočtu při měření zadního kola	15,06	10,13	7,72	6,23	5,15
Poměr teoretického poměru proti změřenému poměru	0,97	0,97	0,98	0,99	0,96

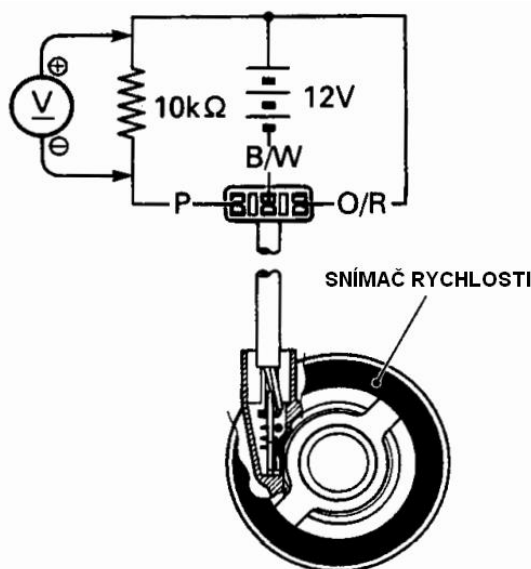
4.2.2 Signál z kabelového svazku motocyklu – otáčky kola

Po prozkoumání kompletní kabeláže motocyklu (podle schématu s popisky barev kabelů) [3], byl nalezen výstup ze senzoru otáček předního kola. Výstupem je obdélníkový signál (0 až 4,8 V), který se za jednu otáčku kola změní o 4 periody. Stav výstupu je přímo závislý na poloze kola. Z naměřené periody mezi signály lze vypočítat frekvenci otáčení kola podle vztahu

$$f_{kolo} = \frac{1}{T * 4} [Hz] \quad (4.1)$$

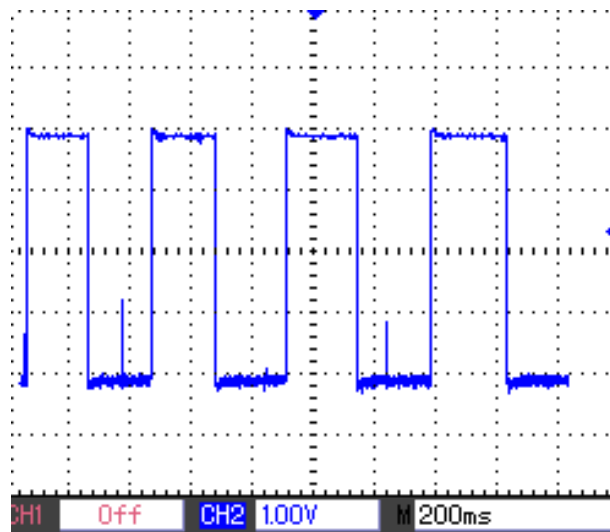
kde T je doba mezi sestupnými hranami signálu. Maximální frekvence signálu je 270 Hz při maximální rychlosti 160 km/h. Tomu odpovídá perioda 3,7 ms.

Tento svazek se třemi vodiči je veden od osy předního kola pod nádrž, kde je konektor a následně je spolu s hlavním svazkem přiveden do palubní desky vpředu. Napojení na tento svazek je tedy nutné provést poblíž toho konektoru, protože se jedná o nejlepší místo. Odtud stačí vyvést pouze jeden kabel do mé řídicí jednotky. Níže na obrázku 11 je naznačeno připojení v jednotce motocyklu. Signálový vodič je tedy růžový vlevo.



Obrázek 11 schématické znázornění připojení čidla k motocyklu [3]

Signál při nastartovaném motoru obsahuje velký šum v podobě přepět'ových špiček. Je to způsobeno rušením při vysokonapět'ovém zapalování směsi ve válci. Rušení se na vodiče přenáší induktivní a kapacitní vazbou. Na obrázku 12 z osciloskopu níže se nachází průběh signálu při otáčení kolem. Signál ještě není upraven a obsahuje rušení. Nejvíce jsou patrné přepět'ové špičky v nízké úrovni digitálního signálu. Tyto špičky by mohly mylně aktivovat vyhodnocování frekvence v mikrokontroléru, a proto je nutné je odstranit.



Obrázek 12 přímý výstup ze senzoru otáček předního kola bez úpravy

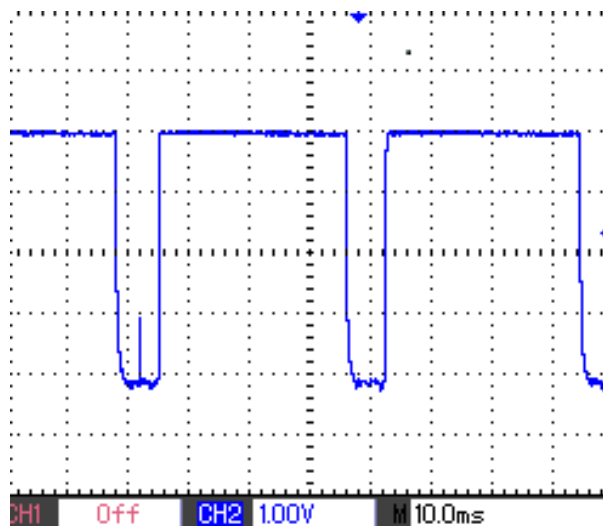
4.2.3 Signál z kabelového svazku motocyklu – otáčky motoru

V tomto případě motocykl nemá přímé snímání polohy klikové hřídele pomocí hallové sondy, ale snímá ji pomocí sběrací cívky v alternátoru. Ze schématu připojení palubní desky je patrné, že jednotlivé signály jsou vedeny svazkem paralelně, a tudíž lze dohledat, který vodič vede tento signál. [3]. Ze schématu bylo odvozeno že analogový signál z cívky spolu s buzením alternátoru je přiveden do jednotky motoru. Z této jednotky je signál vyveden do již zmiňované palubní desky jedním vodičem. Ten vede obdélníkový signál se střídou okolo 85 % a rychlost otáčení motoru je přímo úměrná frekvenci. Jedna perioda signálu odpovídá jedné periodě otáčky motoru.

Naštěstí je motocykl staršího data a informace jsou vedeny paralelně a nejsou vůbec šifrované nebo převedené na nějaký typ sběrnice. Pokud by tomu tak bylo, tak by pravděpodobně nešlo získat žádné informace a zvolené řešení by vůbec nešlo realizovat. Frekvence otáčení motoru se vypočítá podle vztahu

$$f_{motor} = \frac{1}{T} [Hz] \quad (4.2)$$

kde T odpovídá jedné periodě signálu, a tedy jedné otáčce motoru. Při maximálních otáčkách motoru by signál měl frekvenci 133 Hz. Tomu odpovídá perioda 7,5 ms. Při volnoběžných otáčkách (1500 RPM) by signál měl mít frekvenci 25 Hz. Z praktického měření vyplývá, že frekvence změřená osciloskopem odpovídá ukazateli na palubní desce. Pro ověření proběhlo měření frekvence osciloskopem při vyšších otáčkách a odpovídá to teorii.



Obrázek 13 přímý výstup z jednotky motoru CDI do palubní desky bez úpravy

4.2.4 Problémy s rušením

Motocykl je z roku 1999 a z hlediska EMC vyzařuje spoustu rušení. Jednotky na motorce jsou primitivní a počítají s tím. V tomto případě, kde povede komunikace s displejem a zpracování mikrokontrolérem je důležité vše zohlednit. Problémů s rušením zde nastává hned z několika důvodů. Největším je samotné zapalování svíček motoru. Pro vytvoření výboje, který zapálí směs vzduchu s benzínem je zapotřebí vysokého napětí. Jeho velikost je závislá na teplotě, tlaku a vzdálenost elektrod (v tomto případě 0,75 mm). Napětí dosahuje hodnot okolo 10 kV a spíná se velmi rychle. Zapalovací cívka je umístěna pod nádrží těsně vedle veškeré kabeláže. Z hlediska EMC se na tyto kabely naindukují velké proudové a napěťové špičky kvůli parazitní kapacitě mezi kabely a kabelem pro svíčku. Hovoříme tedy o kapacitní a induktivní vazbě.

Dále je zde problém s kolísáním napájecího napětí. Napájení obsahuje rušení vytvořené na usměrňovači, který je jednoduché konstrukce, a proto kvalitní filtry. Rušení se pak projeví i do signálových vodičů.

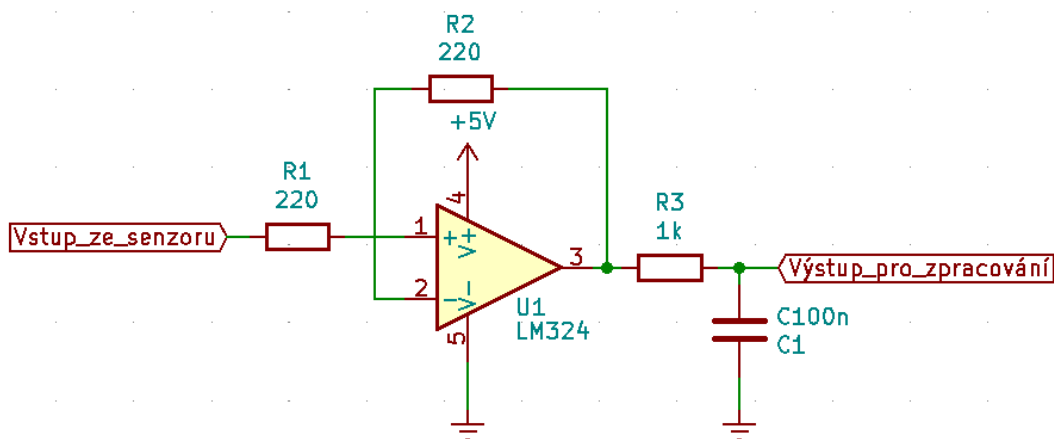
4.3 Výběr úpravy signálu před vyhodnocováním

Z výše zmiňovaných důvodů je nutné vyhodnocované signály upravit na ideálnější průběhy a zbavit se rušení. Logicky se nabízí využít zapojení ve smyslu Schmittova klopného obvodu.

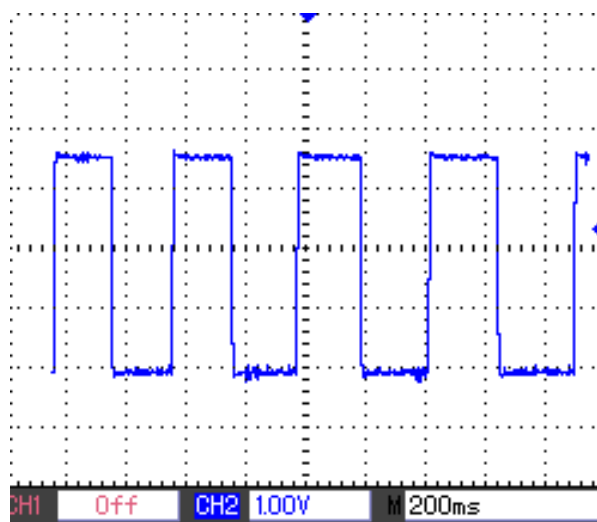
4.3.1 Vlastní návrh zapojení s operačním zesilovačem

Původně bylo vytvořeno zapojení s OZ pro experimentování se signálem. Princip je založen na integračních člancích, které omezí rychlé špičkové výkyvy. První zapojení

pro vyhodnocování otáček kola je jednodušší. Schéma je zobrazeno na obrázku 14. obsahuje oddělovací sledovač, protože je nežádoucí zásadně ovlivňovat komunikaci systému. Za sledovačem je integrační článek s časovou konstantou 0,1 ms. Nejrychlejší signál je s periodou 3,5 ms. Na obrázku 15 níže lze pozorovat upravený průběh bez špiček.



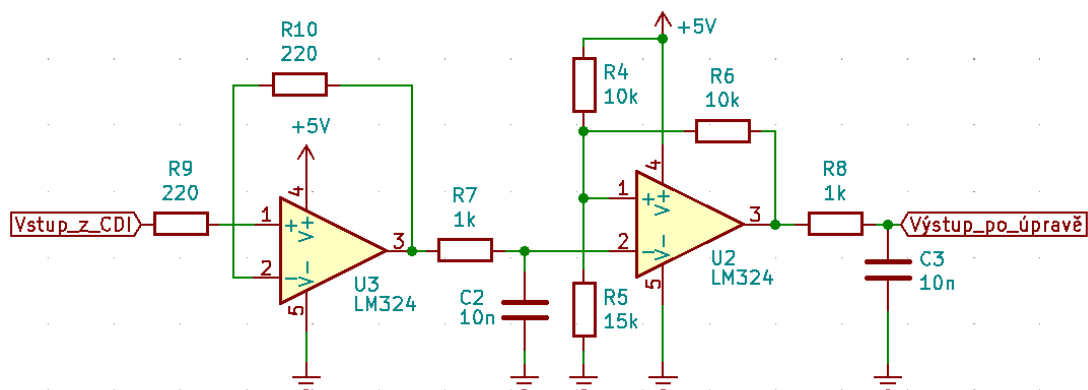
Obrázek 14 schéma zapojení OZ pro úpravy signálu ze senzoru kola



Obrázek 15 výstup z upravovacího obvodu se sledovačem

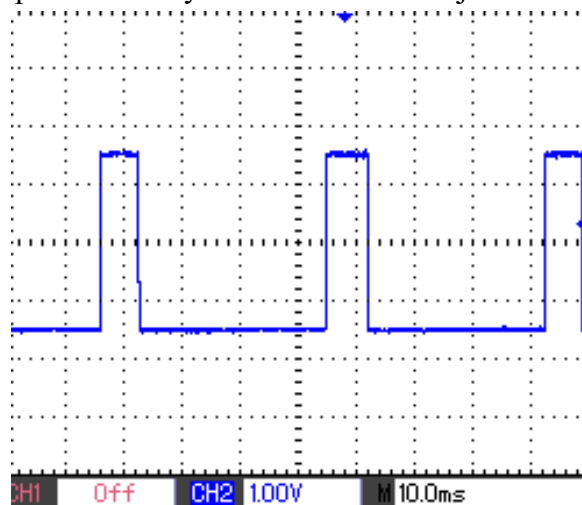
Dalším zapojením je úprava signálu otáček motoru. Cílem je odstranit napět'ové špičky a narovnat sestupné hrany. Bylo vytvořeno zapojení (16) Schmittova obvodu s hysterezí pomocí nesymetricky napájeného OZ a integračních článek. První je oddělovací sledovač,

aby nebyla ovlivněna komunikace systému. Za ním je první integrační článek pro vyhlazení špiček. Následuje Schmittův klopný obvod s hysterezí. Na výstupu je opět integrační článek, který ale není nutný. Byl použit pro ladění obvodu. Jejich časová konstanta je 10 μ s. Nejkratší perioda signálu je 7,5 ms, takže velikost kondenzátoru je možno ještě zvýšit.



Obrázek 16 schéma zapojení OZ jako sledovač a Schmittův klopný obvod s hysterezí s integračními články pro úpravu signálu otáček motoru z jednotky CDI

Na obrázku 17 níže lze pozorovat již upravený signál z jednotky motoru. Signál je invertovaný, ale pro naše účely to nevádí. Důležitá je frekvence signálu a jasný průběh.

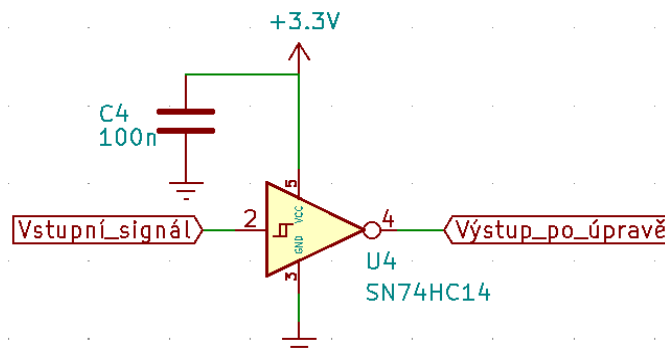


Obrázek 17 upravený signál z jednotky motoru pomocí vlastního zapojení s OZ

4.3.2 Integrované řešení Schmittova klopného obvodu

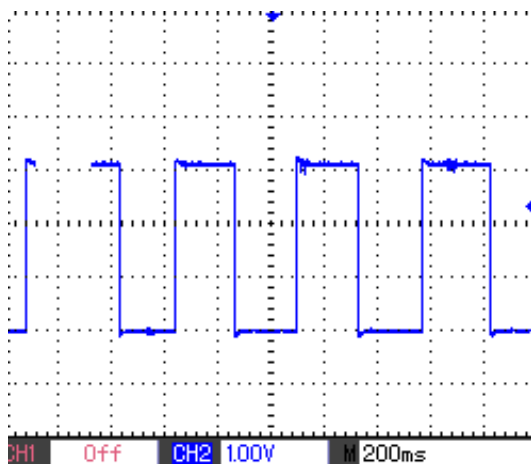
Obě řešení s vlastním obvodem s OZ jsou robustní a laditelné. Po konzultaci s Ing. Jaroslavem Jankovským bylo doporučeno nahradit vlastní řešení s OZ integrovaným Schmittovým klopným obvodem. Je to jednodušší varianta, která by měla fungovat stejně kvalitně, ale není potřeba tolik diskrétních součástek.

Byl vybrán obvod SN74HC14 od Texas Instruments [10]. Je to sledovací invertor se Schmittovým klopným obvodem. Integrovaný obvod má 6 vstupů a výstupů a k jeho funkčnosti stačí připojit jen napájení a k němu paralelní $0,1\mu\text{F}$ kondenzátor (viz schéma na obrázku 18). Pro zlepšení funkce by bylo lepší připojit na vstup integrační člen.

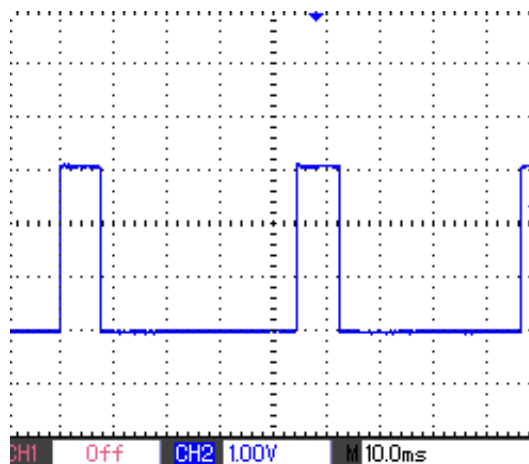


Obrázek 18 schéma zapojení integrovaného Schmittova klopného obvodu pro úpravu signálu ze senzoru kola a z CDI (jednotka motoru)

Obvod je napájen 3,3 V a výstupem je vyhlazený signál 0 až 3,1 V (viz záznam z osciloskopu 19 a 20). Z hlediska odolnosti proti elektrostatickému výboji výrobce deklaruje odolnost vůči ESD pulzu $\pm 2\text{ kV}$ při uvažování modelu lidského těla (HBM). Díky tomu by obvod měl vydržet nežádoucí indukované přepět'ové špičky při provozu a neopatrném zacházení. Toto řešení bylo vybráno jako nejlepší pro realizaci této práce.



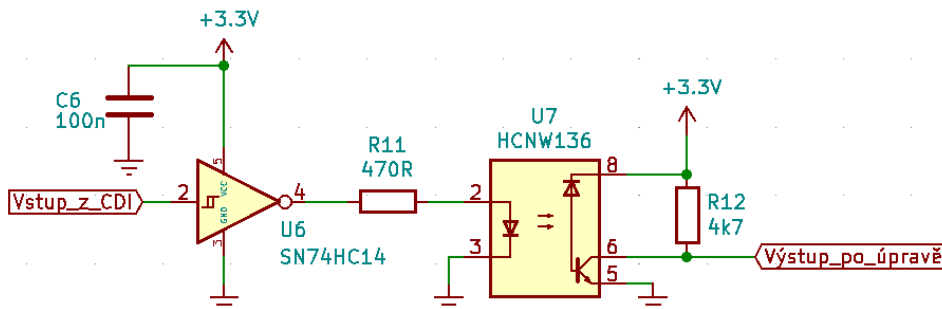
Obrázek 19 průběh vyhlazeného signálu ze senzoru kola Schmittovým obvodem



Obrázek 20 průběh vyhlazeného signálu z jednotky motoru Schmittovým obvodem

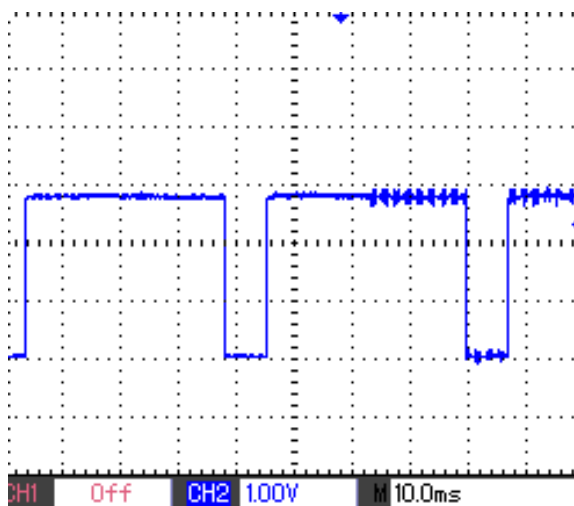
4.3.3 Využití optočlenu jako oddělovače od rušení

Optočlen je v tomto případě také vhodné řešení, protože signály jsou pomalé a zarušené. Prakticky byl pro testování použit obvod HCNW136 [11]. Optočlen byl zapojen za výstup Schmittova klopného obvodu, aby se opravdu omezily všechny přechodné jevy (viz obrázek 21). Možné by bylo ho zapojit napřímo jako jedinou úpravu signálu. Prakticky byly odzkoušeny obě varianty, ale stačí zmínit jen tu s oběma obvody.



Obrázek 21 schéma zapojení Schmittova klopného obvodu a optočlenu pro úpravu signálu z jednotky motoru

Na obrázku 22 níže lze pozorovat průběh signálu z jednotky motoru po úpravě obvodem s optočlenem ze schématu na obr. 21. Úroveň signálu trochu klesla, z důvodu vlastnosti optočlenu, na 2,8 V. Pro bezpečné detekování mikrokontrolérem by bylo vhodné tuto úroveň zvýšit změnou napájení optočlenu na 5 V. Signál z nějakého důvodu obsahuje šum, který se občas projeví. Ten by se teoreticky dal vyladit připojením kondenzátoru.



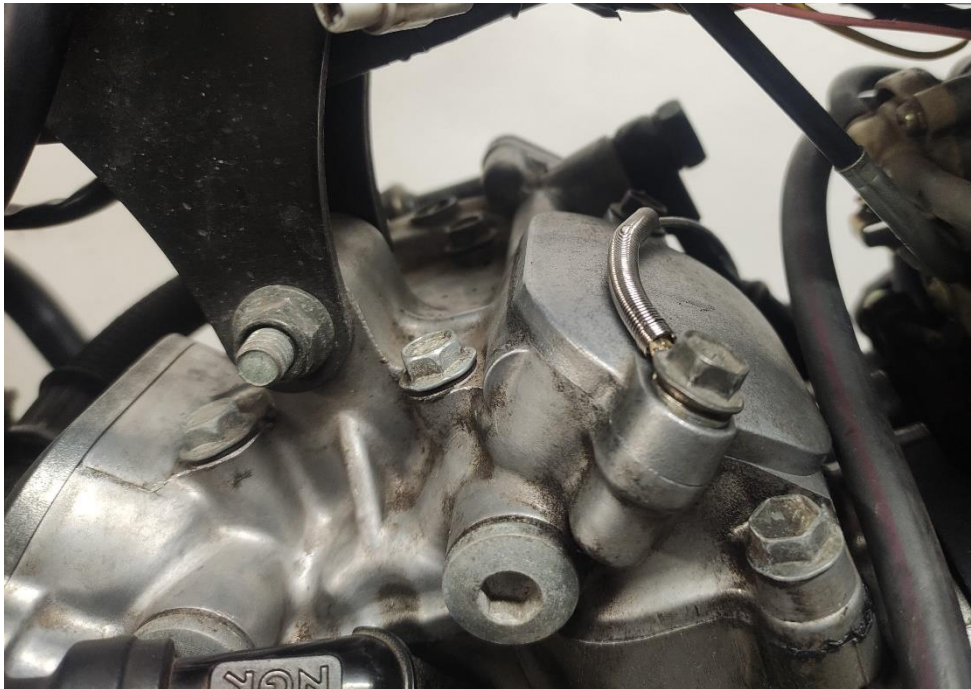
Obrázek 22 průběh signálu z jednotky motoru po úpravě Schmittovým klopným obvodem a optočlenem

4.4 Měření teploty motoru

Teplotu lze měřit přímo senzorem teploty oleje. V tomto případě je cílem měřit přímo teplotu hlavy motoru pro lepší odezvu a správnost výsledku. Standardně se teplota hlavy neměří, a proto je zajímavé ji měřit. Měřicí termočlánek musí být odolný vůči teplotnímu namáhání a mechanickým vibracím. Pro měření všech teplot je využit termočlánek typu K.

Nejvyšší teploty bude dosaženo v létě při okolní teplotě přes 35 °C, nízké vlhkosti a malém větru. Nejhorší je jízda za těchto podmínek a popojíždění v koloně. Teprve v tomto případě se ověří maximální možná teplota. Přesně k těmto účelům je celé zařízení stvořeno.

Umístěn je pod šroubem od víka sacích ventilů (na obrázku 23 v pravé části). Jedná se o nekritický šroub, který neдрží nic důležitého pro funkčnost motoru a lze pod něj vložit podložku s uchycením senzoru.



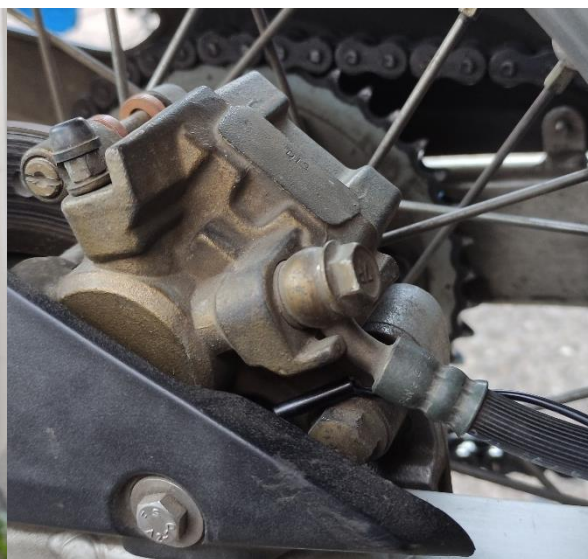
Obrázek 23 uchycení termočláneku pro měření teploty motoru u sacích ventilů (vpravo)

4.5 Měření teploty brzdových třmenů

Termočlánek typu K je veden spolu s hadicí brzdové kapaliny a jeho konec je upevněn co nejbližší brzdovému pístku z vnější strany epoxidovým lepidlem odolným při vysokých teplotách. Dobré adheze je zajištěno samotným umístěním do rohových částí třmenů, které jsou vyobrazeny na obrázcích 24 a 25. Konkrétně je použito epoxidové lepidlo JB WELD KwikWeld s dostatečnou teplotní odolností poskytnuté od Ing. Alexandra Otáhala PhD. z VUT.



Obrázek 24 přední brzdový třmen



Obrázek 25 zadní brzdový třmen

4.5.1 Vyhodnocení teploty získané termočlánkem

Vytvoření obvodu z diskrétních součástí, který by měřil teplotu pomocí termočlánku s kompenzací teploty studeného konce by bylo složité a nad rámec této práce. Proto bylo zvoleno integrované řešení MAX31855KASA od firmy MAXIM INTEGRATED [12]. Tento obvod zpracuje teplotu a lze s ním digitálně komunikovat pomocí SPI sběrnice. Obsahuje teplotní kompenzaci studeného konce, a proto se v návrhu DPS musí umístit co nejbližší ke konektoru, kde vznikne studený konec. Výstupem je 14bitový údaj o teplotě s rozlišením 0,25 °C. Jeho přesnost je přibližně $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

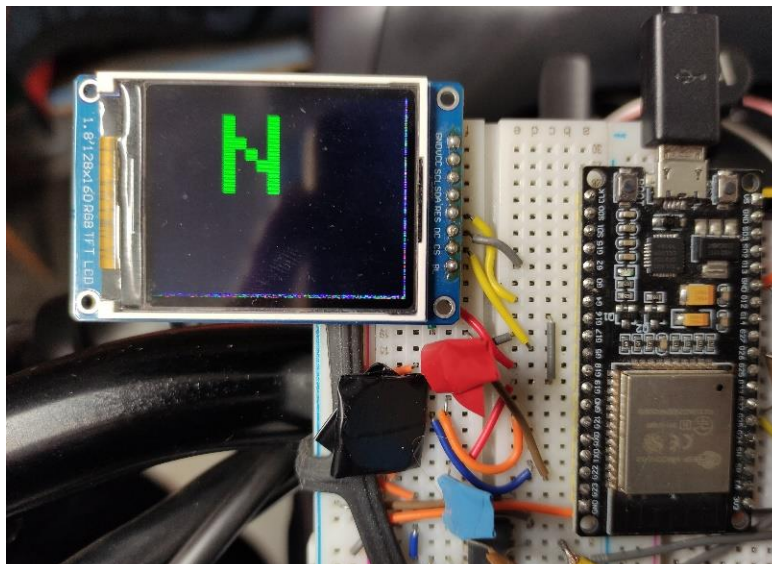
5 PROTOTYPY

V této kapitole jsou představeny funkční prototypy ukazatele zařazené rychlosti různých principů.

5.1 Prototyp ukazatele zařazené rychlosti na principu detekce polohy řadící páky

Prototyp zařízení (na obrázku 26) se dvěma sondami a nulování rychlosti pomocí indikace neutrálu byl sestaven a fungoval dle předpokladů. Princip vychází z kapitoly 3.1.1. Implementace takového zařízení by vyžadovala vytvoření uchycení pro hallové sondy a magnetu, připojení vývodů k MCU a přivedení signálu z kabelu, co indikuje neutrál, případně ho nějak upravit na příslušnou logickou úroveň. Realizace by nebyla tak náročná, ale spíše složitá na vyladění.

Zařízení obsahuje TFT displej, 2 hallové sondy a dodatečné tlačítko simulující sepnutí indikace neutrálu. Magnet by byl umístěn na řadící páce. Modrá sonda detekuje řazení dolů a červená nahoru. Výchozím stavem je neutrál „N“. Magnetem pohneme k modré sondě a na displeji se objeví „1“. kdyby řidič chtěl řadit pod „1“ nebo nad „5“ tak ho to nepustí stejně jako na motocyklu. Nahoru se řadí přiblížením magnetu k červené sondě. Neutrál se detekuje ze stisku tlačítka. V praxi by se neutrál detekoval z kabelového svazku motocyklu.

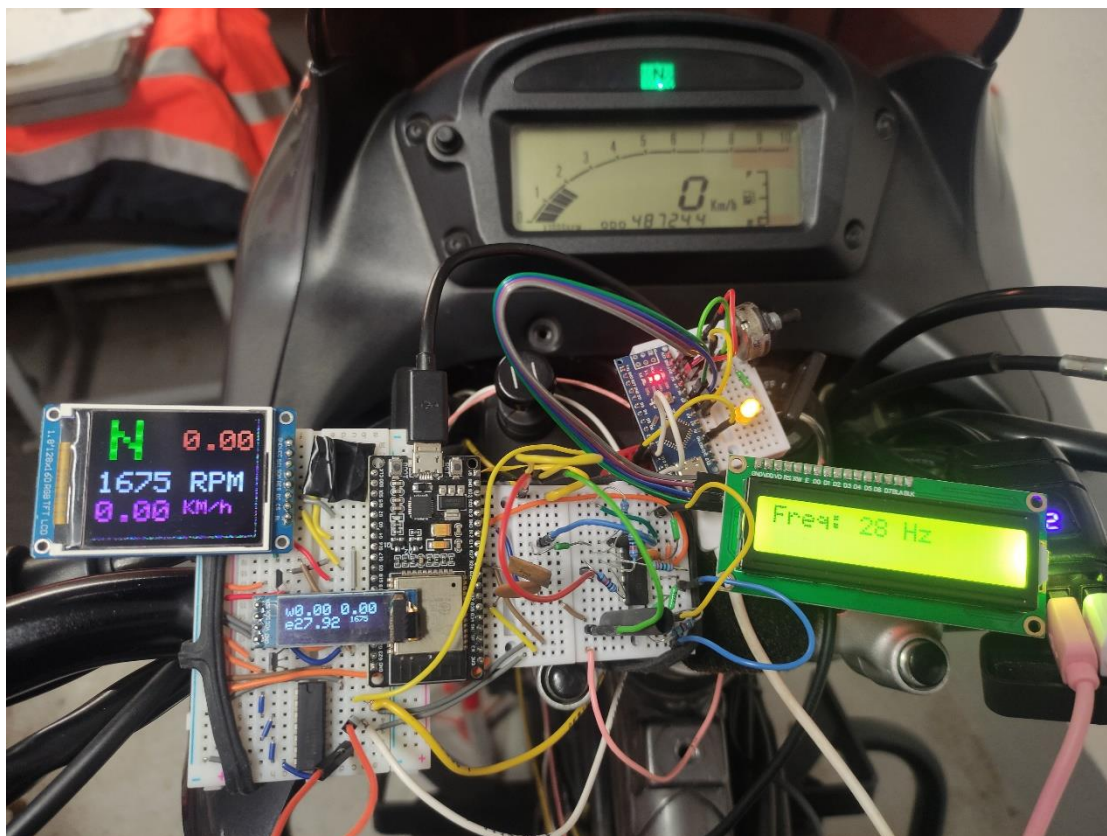


Obrázek 26 prototyp detektoru zařazené rychlosti na principu snímání polohy páky přes hallové sondy

5.2 Prototyp ukazatele zařazené rychlosti na principu měření převodového poměru

Pro praktické ověření principu funkce a vytvoření schématu byl sestrojen prototyp. Je založen na principu z kapitoly 3.1.4. Jeho hlavní funkcí je měřit frekvenci otáčení kola a frekvenci otáčení motoru. Z výsledného poměru frekvencí přiřadí z náhledové tabulky změřených hodnot výslednou zařazenou rychlost. Pro ověření funkčnosti je nutné provést zkušební jízdu. Kvůli počasí byla provedena pouze jedna zkušební jízda, při které byly změřeny převodové poměry zobrazené v tabulce 4. Při testování obvodů na úpravu signálu stačil nastartovaný motocykl na hlavním stojanu, aby se dalo točit předním kolem.

Na obrázku 27 je vyfocen celý prototyp i s pomocným generátorem frekvence, který umožňuje simulovat otáčky motoru nebo kola i bez nastartování motocyklu. Prototyp je sestrojen z vývojové desky „ESP32 Wrover module“, TFT displeje a OLED displeje. Pomocné obvody pro úpravu signálu LM324, SN74HC14 a HCNW136. Na TFT displeji se zobrazuje vypočítaná zařazená rychlost (zelená), převodový poměr (oranžová), vypočítané otáčky motoru (bílá) a změřená rychlost vozidla (fialová). Na OLED displeji se za symbolem „w“ nachází frekvence kola, vpravo pak převodový poměr a dole za symbolem „e“ je frekvence motoru. Na palubní desce motocyklu lze pro ověření zkontrolovat, že otáčky motoru jsou 1750 otáček za minutu (1 dílek znamená 250 RPM). Dále se uprostřed nahoře palubní desky nachází kontrolka neutrálu, která svítí zeleně, když není zařazená rychlost. Program pro ESP je napsán v Arduino IDE a je zde využit FreeRTOS s hardwarovým přerušením pro přesné měření frekvencí.



Obrázek 27 prototyp detektoru zařazené rychlosti se zobrazováním na TFT displeji a zobrazováním frekvencí a poměru na OLED displeji (vlevo) a generátor frekvence pro simulaci mimo motocykl (vpravo)

6 NÁVRH VLASTNÍ DESKY PLOŠNÉHO SPOJE

V návrhovém prostředí KiCad 8.0 byla vytvořena čtyřvrstvá DPS vlastního návrhu schématu i rozložení.

6.1 Návrh schématu

Následuje popis jednotlivých částí obvodu řídicí jednotky. Pouzdra pro kondenzátory a rezistory jsou převážně velikosti 0805. Ostatní pouzdra jsou typu SOIC nebo jiné. Celé schéma je zobrazeno na příloze B.

6.1.1 Napájení

Přibližná spotřeba displeje je 150 mA při 3,3 V. Pomocné obvody jako Schmittův klopný obvod nebo měřící MAX31855 mají odběr po 1 mA. Velkou spotřebu má mikrokontrolér. V případě použití ESP32 s možností v budoucnu rozšířit komunikaci například s telefonem má odběr až 350 mA. Bez použití bezdrátových komunikací se spotřeba pohybuje do 50 mA. Při využití STM32F4 lze očekávat spotřebu okolo 100 mA. Velikost spotřeby závisí na mnoha faktorech, ale při spouštění programu a displeje nebo při změně obrazu na displeji lze očekávat vyšší spotřebu. Celkově i rezervou bude potřeba napájecí zdroj s proudem stabilních 0,5 A, špičkových až 1 A.

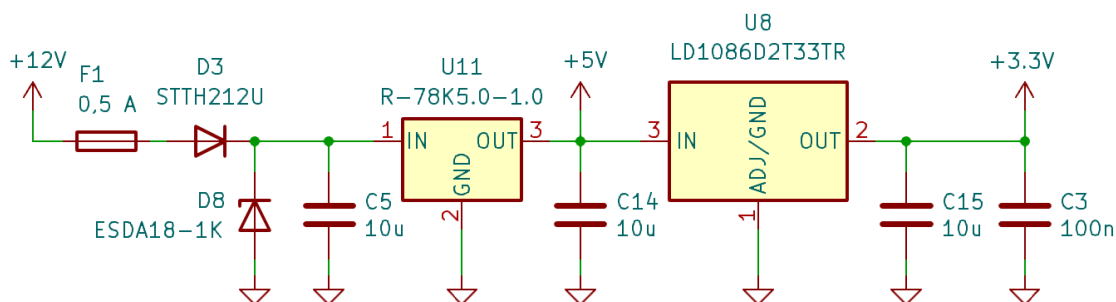
Napájecím napětí bude napětí palubní sítě, které je při provozu 12,5 až 14,4 V. Požadavkem je ho snížit na 3,3 V. Při použití pouze LDO regulátoru by rozdílné napětí bylo 11,1 V. Ztrátový výkon při procházejícím proudu 0,5 A (špičkový lze zanedbat) by byl 5,55 W. Jelikož zařízení má pracovat ve ztížených provozních podmínkách okolní teploty 40 °C a možná ještě víc kvůli zahřívání motocyklu, tak je toto řešení nežádoucí z důvodu potřebného chladiče a neefektivity.

Efektivnějším řešením je využít snižující spínaný zdroj s 5V výstupem. Výstupní výkon při stálých 0,5 A je 2,5 W. Při účinnosti 85 % je vstupní výkon přibližně 3 W. Ztrátový výkon činí 0,5 W. Není potřeba dodatečný chladič a zdroje obvykle dokážou dodat i vyšší proudy. Konkrétně je zde využít integrovaný snižující měnič v THT provedení RK-78K5.0-1.0. Jeho vstupní napětí je od 6,5 do 36 V. zařízení tak může fungovat i při startování, kdy napětí klesne až k 8 V. Výstupem je napětí 5 V a 1 A. [13]

Snížení na 3,3 V obstará LDO regulátor LD1086D2T33TR. Jeho ztráta je 0,85 W při maximálním odběru 0,5 A. Při použití pouzdra D2PAK a čtyřvrstvé DPS nenastane problém s přehříváním.

Schéma zapojení (28) obsahuje bezpečnostní pojistku, ochrannou diodu proti přepólování a jednosměrný transil pro omezení přepětí při vypnutí zapalování motocyklu nebo při nebezpečném dotyku obsluhou. Následuje snížení napětí měničem na 5 V a snížení LDO regulátorem na 3,3 V. Za ním jsou dva vyhlazovací kondenzátory

s rozdílnou kapacitou z důvodu lepšího vyhlazení zvlnění a omezení EMC rušení do obvodu.

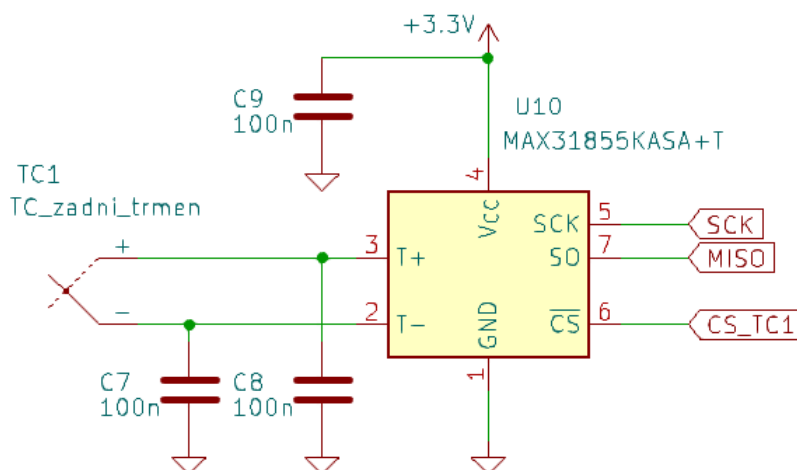


Obrázek 28 schéma zapojení napájecích obvodů

Celý systém je napájen z obrysových světel. Celá spotřeba jednotky nijak nezatíží tuto část instalace a v případě chyby jednotky lze restartovat vypnutím světel namísto vypnutí celého zapalování. Jednotka se tedy zapne spolu s rozsvěcením světel. Kdyby bylo použito externího vypínače na říditkách, tak by zde bylo riziko s vodotěsností a vybitím baterie při vypnutém motocyklu, a proto bylo zvoleno toto automatické řešení.

6.1.2 Měření teplot

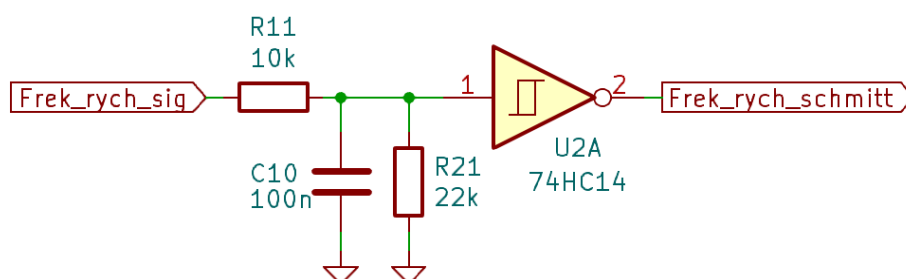
Podle doporučení výrobce byl vytvořen blok pro měření termočlánkem (schéma 29). Tyto bloky jsou využity celkem tři. Kondenzátory C7 a C8 ve schématu slouží jako odrušovací pro zlepšení stability v zarušeném prostředí. C9 je pro vyhlazení napájení a celý obvod je připojen přes SPI k ESP32. Integrovaný obvod MAX31855 je dodáván v pouzdře SOIC-8. [12]



Obrázek 29 schéma připojení termočlánku k měřicímu obvodu

6.1.3 Zpracování signálů

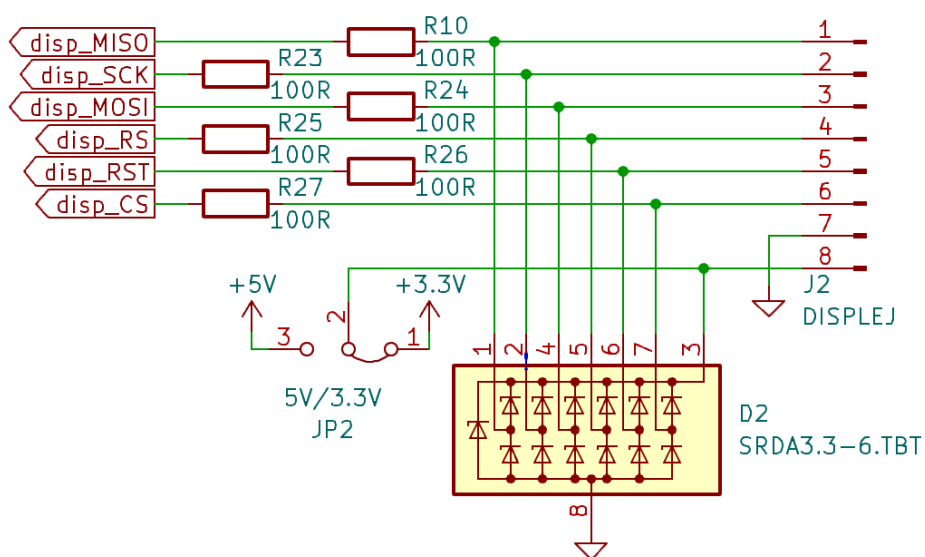
Bylo zvoleno řešení s integrovaným Schmittovým obvodem 74HC14 z kapitoly 4.3.2. Obvod má šest kanálů a je dodáván v provedení SOIC-14 [10]. Na vstupu je zapojen dělič napětí z 4,8 na 3,3 V a zároveň integrační článek pro odrušení vstupního signálu (viz schéma na obr. 30). Za výstupem je připravena sériová zkratovací propojka a paralelní nezapojená propojka pro vložení případného dalšího integračního členu. Prozatím druhý článek nebyl využit. Toto řešení také omezuje ESD výboj, který by mohl přijít ze strany konektoru jednotky. Pro detekci neutrálu jsou prohozeny vstupní odpory, protože úroveň signálu je 12 V.



Obrázek 30 schéma obvodu upravujícího měřený signál

6.1.4 Připojení displeje k mikrokontroléru

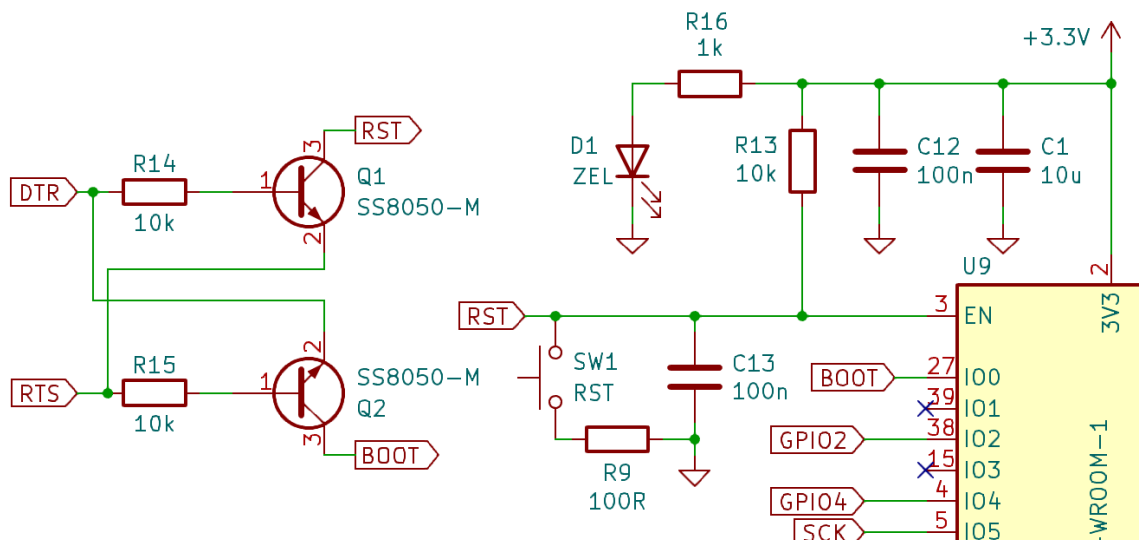
Displej je připojen přes SPI sběrnici. Pro ochranu mikrokontroléru je zde použita sada ochranných obousměrných transilů SRDA3.3-6.TBT [14]. Aby případný ESD výboj neohrozil ESP32 tak jsou zde ochranné rezistory 100 Ω . Výboj by šel cestou menšího odporu do transilu (viz schéma na obr.31). Na DPS lze pájecí propojkou zvolit, napájení displeje na 3,3 nebo 5 V. Vodič MISO zde není potřebný, protože displej data nevysílá, ale je s ním v návrhu počítáno pro případnou změnu displeje, který by jej vyžadoval.



Obrázek 31 schéma připojení displeje k mikrokontroléru i s ochrannými transily

6.1.5 Programování ESP32 S3

Jako řídicí mikrokontrolér byl vybrán ESP32 S3 WROOM 1U N16R8. Disponuje dostatkem paměti a výkonu. K nahrání programu bude sloužit FTDI programátor připojený přes JST konektor k DPS. Pro automatické nahrání programu (přepnutí ESP do nahrávacího režimu) je zde využito dvou tranzistorů SS8050 (schéma na obr. 32). Napájení je vyhlazeno dvěma keramickými kondenzátory a je zde i dioda indikující přítomnost napájení. Resetovací tlačítko má sériově připojený rezistor R9 pro omezení zkratovacího proudu z C13. Dále jsou z programátoru přivedeny UART vývody RX a TX na UART0 v ESP32. Pro indikaci komunikace jsou ke sběrnici připojeny dvě indikační LED.



Obrázek 32 schéma připojení FTDI programátoru k ESP32 S3

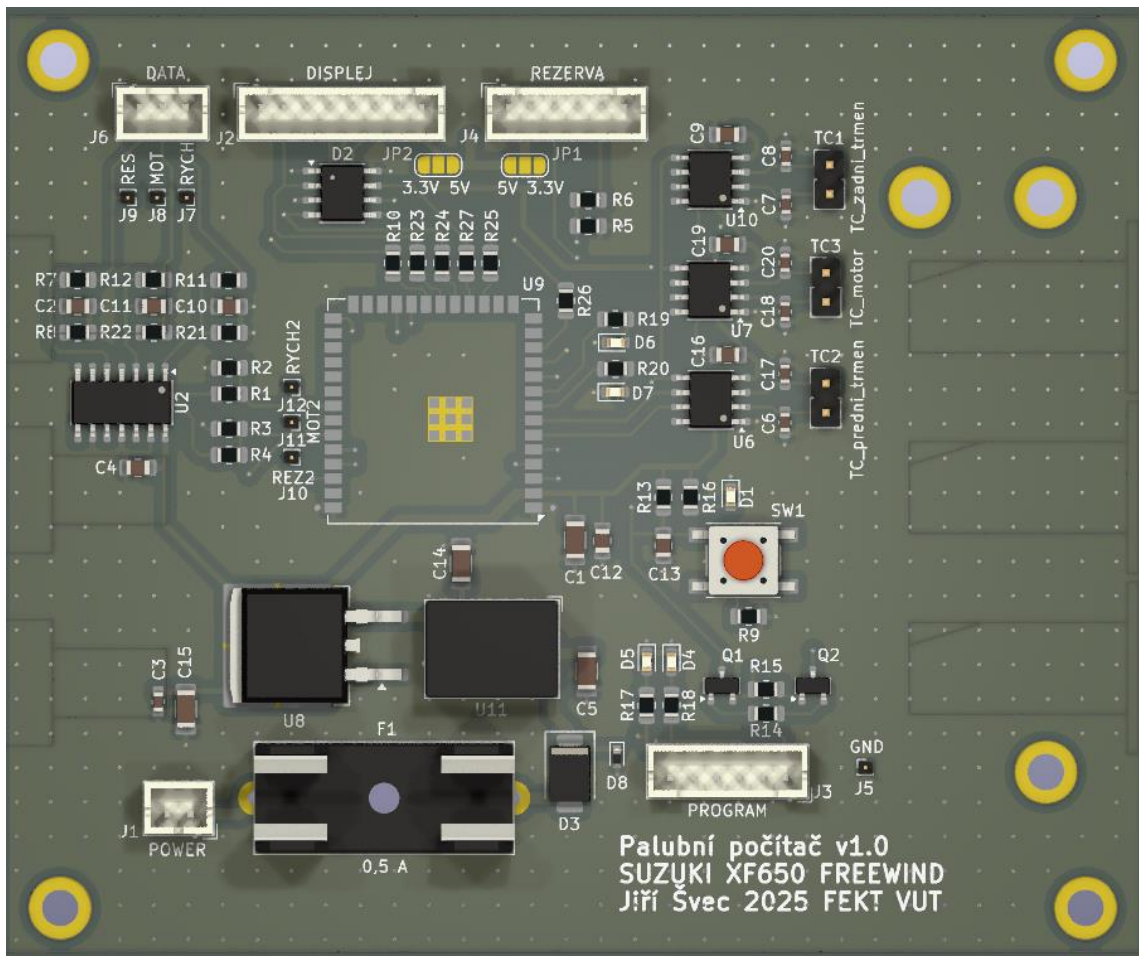
6.1.6 Ostatní

Pro budoucí rozšíření a odladění jednotky jsou zde připraveny další prvky. K výstupu z ESP jsou připojeny dvě LED. Dále je zde připraven jeden JST konektor se čtyřmi GPIO vývody a napájením s volbou 3,3 nebo 5 V.

6.2 Návrh DPS

Materiálem je čtyřvrstvá FR-4 o tloušťce 1,6 mm s povrchovou úpravou HASL. Vnitřní vrstvy jsou plně vyplněné mědí a připojené na nulový potenciál. První a čtvrtá vrstva je určena pro signály a napájení kladné větve. Nevyužitý prostor ve všech vrstvách je připojen na nulový potenciál a propojen v mřížce mikropropoji. Připojení cest z krajních vrstev k nulovému potenciálu je provedeno propojem do středních vrstev. Zvolené řešení má hlavní výhodu v dobré distribuci tepla a odolnosti proti EMI. SMT součástky jsou osazeny v horní vrstvě desky. Konektory JST-1,25 mm, napájecí měnič a pojistka jsou v THT provedení také v horní vrstvě.

Signálové cesty jsou široké 0,3 mm a napájecí 0,5 až 1 mm. Deska je navržena jako soubor bloků. V pravé části jsou tři bloky měření teplot. Ve spodní části je programování a napájecí obvody. V levé části je zpracování signálů z motocyklu a nahoře jsou datové konektory. Na desce lze i volit napájení displeje a rezervy mezi 3,3 a 5 V. Vstupní signály z motocyklu lze analyzovat osciloskopem na vyvedených ploškách. Stejně tak lze analyzovat již upravené signály. Hotová deska je zasunutá do hliníkového boxu. Pro případ jiného způsobu montáže jsou zde vytvořeny montážní otvory. Další otvory jsou pro protažení vodičů z termočláňkových konektorů pro zapájení z druhé strany. Navržená DPS je ukázána na obrázku 33 níže.



Obrázek 33 zobrazení DPS z návrhového prostředí KiCad

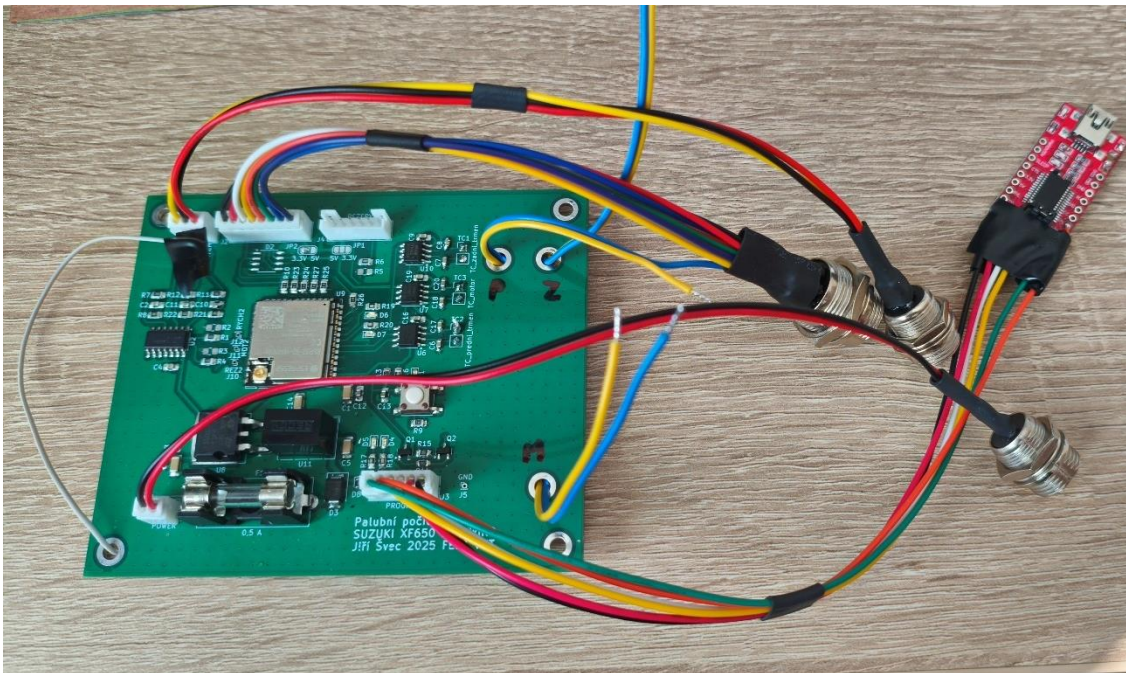
6.3 Oživení řídicí jednotky

Po doručení DPS dodavatelem byla deska osazena a zapájena. Poté následovala výroba kabeláže s konektory a následné oživení a naprogramování.

6.3.1 Pájení DPS a konektorů

Pro pájení SMT součástek byla zvolena metoda nanesení pájecí pasty dispenzerem. Konkrétně byl použit typ bezolovnaté pájecí pasty SAC305. Pro osazení SMT součástek byla použita manuální vakuová pipeta. Následně byla deska zapájena metodou přetavením v peci s nucenou konvekcí. Po vychladnutí byly manuálně zapájeny THT součástky trubičkovou pájkou SAC305.

Pro dobrou mechanickou odolnost a spolehlivý kontakt byly vybrány konektory GX12 a GX16. Tyto konektory slouží k propojení DPS s panelem na boku řídicí jednotky. Na obrázku 34 níže je vyfocena zapájená DPS a vytvořené datové a napájecí konektory i s programátorem. Uprostřed je řídicí ESP32. Vpravo od něj jsou tři obvody měřící teplotu. Pod nimi jsou tranzistory na ovládání programování. Vlevo dole se nachází hlavní pojistka, nad ní je obdélníkový integrovaný měnič napětí a vlevo od něj je 3,3V LDO regulátor. V levé části je Schmittův klopný obvod pro úpravu vstupních signálů. Nahoře jsou pak konektory na vstupní signály a displej.



Obrázek 34 osazená DPS s připravenými konektory na panel a programátor

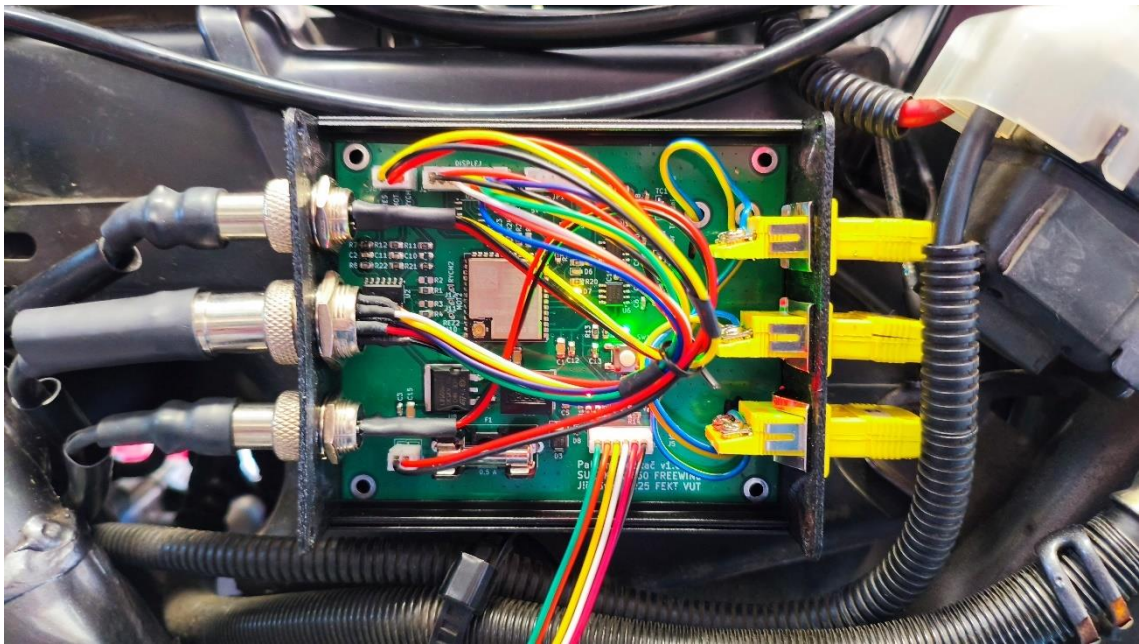
Po oživení byla deska zkušebně naprogramována a připojena na 12 V napájení. Proces oživení proběhl na druhý pokus úspěšně a mohlo se pokračovat do fáze napojení jednotky na motocykl.

7 MECHANICKÉ PROVEDENÍ A KABELÁŽ

V této kapitole je popsáno mechanické uchycení jednotky a displeje. Dále je zde objasněno napojení na systémovou kabeláž.

7.1 Mechanické provedení řídicí jednotky

DPS s řídicí jednotkou systému je umístěna ve vertikální poloze v levé části motocyklu pod sedlem (na obr. 35). Je zasunuta do hliníkového boxu. Z levé části je panel se třemi konektory GX-12 a GX-16. Horní slouží pro připojení kabelu se signály z motocyklu. Prostřední připojuje displej a spodní slouží pro napájení motocyklu. Pravý panel disponuje třemi termočláňkovými konektory. Vodiče jsou z nich svedeny otvorem a připájeny z druhé strany. Konektory jsou umístěny bezprostředně u měřícího obvodu pro správnou kompenzaci studeného konce. Ten vzniká na vnitřním konektoru v místě připojení měděného drátu. Vyhodnocovací obvod teplotu kompenzuje a nemělo by dojít k závažné chybě měření. Navíc změřená teplota může obsahovat malou chybu která může vzniknout.

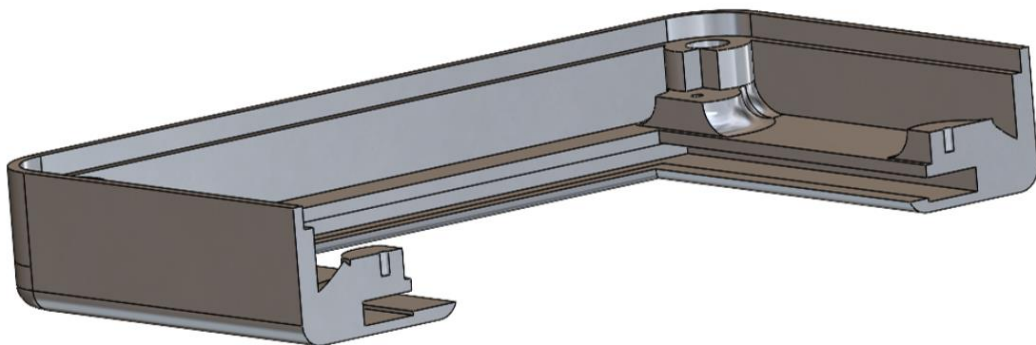


Obrázek 35 umístěná řídicí jednotka i s kompletní kabeláží

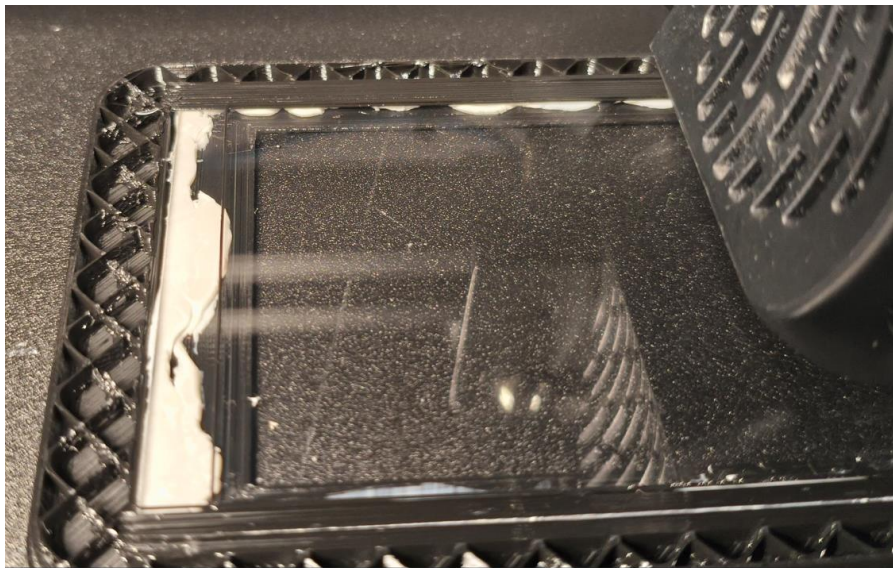
7.2 Uchycení displeje

Na internetu nelze sehnat uchycení na tento typ displeje ani žádný podobný navíc s uchycením na kulatou trubku požadovaného průměru. Bylo tedy nutné zkonstruovat uchycení vlastního návrhu v programu SolidWorks. Díl byl poté vytištěn na 3D tiskárně. Požadavkem byla dobrá mechanická a klimatická odolnost. Místo uchycení na řídkách bylo zvoleno pro dobré pozorování jezdcem a snadné uchycení. Provozní podmínky zde panují opravdu náročné, protože při letním slunci se teplota displeje může vyšplhat přes 50 °C. Proto byl pro tisk vybrán materiál PET-G, který je teplotně odolný asi do 70 °C. Dále zde hrozí stříkající voda ze všech směrů a vibrace.

Uchycení se skládá ze třech dílů, které se propojí šrouby a zápustnými matkami do plastu. Hlavním dílem je ten vrchní. Displej se uchytí z vnitřní strany pomocí čtyř šroubů do montážních otvorů v DPS displeje. V rozích krytu jsou otvory pro zapuštění metrických matek. Aby byl displej kryt proti vnějším vlivům, tak byl vyvinut systém vnoření plexiskla do krytu při tisku naznačený na obrázku 36 níže. Tisk probíhal čelní stranou k podložce. Po vytisknutí části bylo 2mm plexisklo na tmel přilepeno do drážky a tisk pokračoval (průběh tisku je na obr. 37).



Obrázek 36 návrh horního krytu displeje ve 3D (zobrazení v řezu)



Obrázek 37 vložení plexiskla do tištěného dílu

Druhým nezbytným dílem je protikus s uchycením na říditka a vývodem kabelu s krytkou. Podle průřezu trubky řídítek byla vytvořena objímka, která je v půlce rozpůlena pro namontování dílu. V koncovce jsou vytvořené otvory pro zápusťné matky do plastu s metrickým závitem M4. Spolu je drží 40 mm šrouby montované zevnitř krytu. Datový a napájecí kabel F/UTP je sveden z displeje otvorem v tomto plastovém dílu. Pro zaručení vodotěsnosti je kabel opatřen průmyslovou bužírkou, která je uchycena přes vývod tištěného dílu.



Obrázek 38 protikus uchycení displeje ve 3D

Kryt displeje je spolu s namontovaným displejem přimontován k protikusů v rozích ze zadní strany. Navenek jsou tedy vidět jen čtyři šrouby a vzhled motocyklu není narušen. Celý systém uchycení je vyobrazen na obrázku 39 níže.



Obrázek 39 finální uchycení displeje na motocyklu

7.3 Napojení na elektroinstalaci motocyklu

Každý kabelový svazek je vyveden pod nádrž v odolné bužírce. Tam je rozdělení jednotlivých vodičů do patřičných míst. Z jednotky vedou tři svazky. Konec svazku lze od jednotky volně odpojit konektorem a druhý je na pevně připojen k instalaci motocyklu (jako na obr. 40). Prvním je signálový svazek se třemi vodiči. Jeden vodič je připojen pod sedlem ke kabelu se signálem o otáčkách motoru (černý s červeným pruhem). Druhý je připojen pod nádrží k indikátoru neutrálu (modrý). Poslední je pod nádrží připojen k výstupu tachometru (růžový). Místa připojení odpovídají zapojení výrobce a jsou experimentálně ověřeny.[3]



Obrázek 40 příklad napojení vodiče na instalaci motocyklu (červený konektor)

Druhý svazek vede k displeji. Kabel je typu F/UTP, takže má stíněný plášť. V takto zarušeném prostředí je to nezbytné. Vodiče jsou podle čísel na konektoru GX-16 barevně sladěny s očíslováním konektoru RJ-45. V návrhu je myšleno na úplnost, a tedy podle pořadí připojení vodičů na DPS displeje je ve stejném pořadí připojen i konektor na řídicí jednotce.

Třetím svazkem je napájení. Záporný pól je připojen na akumulátor. Kladný pól je připojen na šedý vodič z elektrického přívodu k obrysovým světlům. Je to z důvodu nemuset umístit vypínač na řídítka a také aby se nevybil akumulátor při nevypnutí. Takto zapojený systém se spustí spolu s rozsvícením světel motocyklu. V případě potřeby může řidič restartovat zařízení bez nutnosti vypnout motor. Ochranná 0,5 A pojistka je integrovaná v řídicí jednotce. Případnou závadu na svazku jistí hlavní světelná 15 A pojistka.

7.4 Uchycení termočlánků

Od termočlánkových konektorů v pravé části řídicí jednotky je vždy veden termočlánkový kabel až k měřenému místu. Je opatřen kovovým opletením a na konci je zesílen kovovou koncovkou. Jako epoxidové lepidlo bylo použito JB WELD KwikWeld šedé barvy. Aby termočlánek nebyl spojen s kostrou motocyklu (problém při měření teploty obvodem MAX31855) je svařený teplý konec obalen v první vrstvě epoxidového lepidla. Po zaschnutí této izolační vrstvy bylo aplikována další vrstva okolo pro uchycení k brzdovým třmenům. Měřící konec je vždy co nejbližší brzdovému pístku s brzdovou kapalinou (obr. 41 a 42).

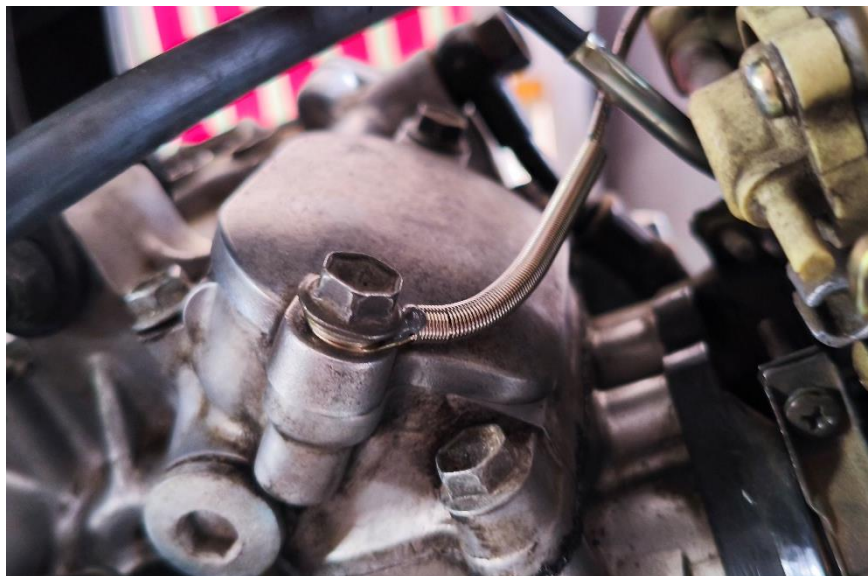


Obrázek 41 uchycení termočlátku na zadním třmenu



Obrázek 42 uchycení termočlátku na předním třmenu

Na hlavě motoru stačilo pouze elektricky izolovat termočlánekový drát. Termočlánek je zakončen mechanickým uchycením v podobě očka, které je namontované pod šroub od víka ventilů podle obrázku 43.



Obrázek 43 uchycení termočlátku pro měření teploty motoru

8 PROGRAM

V této kapitole jsou popsány hlavní funkční bloky programu ovládajícího řídicí jednotkou. Celý program s komentáři je přiložen k elektronické verzi práce.

8.1 Hlavní konstrukce programu

Jako mikrokontrolér slouží ESP32 S3, který funguje na FreeRTOS. Celý program je pro lepší obsluhu a řízení napsán také ve FreeRTOS. Hlavní výhodou použití operačního systému je možnost použít několik paralelních procesů, které se provedou jednou za určitý úsek. Procesorový čas pro jednotlivé procesy rozděluje plánovač a není nutné zde používat vlastní časování přes proměnné. Dále je v programu využíváno dvou hardwarových přerušeni pro měření frekvence.

Po zapnutí se inicializují proměnné a nastaví se vstupní a výstupní vývody. Dále spustí komunikace s termočlánky a displejem. Alokuje se prostor pro procesy a nastaví se priority.

8.2 Obsluha přerušeni

Pro měření frekvence motoru a kola je využito hardwarové přerušeni. Aktivuje se sestupnou hranou signálu. Zjistí se procesorový čas a pokud nebyla poslední změna příliš nedávno (omezení zákmitů pomocí programu), tak se doba mezi posledním přerušeni a aktuálním přerušeni přepočítá na frekvenci podle výpočtu. Ten se liší pro motor (jedno přerušeni na otáčku) a pro kolo (čtyři přerušeni na otáčku). Pomocí programu jsou tedy ošetřeny zákmity signálů, které by nezachytilo analogové vyhlazení.

8.3 Zpracování signálů a vyhodnocení zařazené rychlosti

V procesu je integrováno vyhodnocení změřených frekvencí. Kdyby frekvence byla vyšší, než je fyzicky možné, tak se nebude uvažovat. Poté se vyhodnotí převodový poměr mezi získanými frekvencemi. Pro stabilizaci je zde možnost započítat jen frekvence, které se podobají předchozím a následně průměrování. Z vypočítaného poměru se pomocí náhledové tabulky přiřadí k poměru určitá zařazená rychlost.

Pokud by změřený poměr byl v nepřijatelných mezích, tak se zobrazí pomlčka. Když je zařazen neutrál, tak svítí kontrolka na palubní desce motocyklu. Tento signál je detekován i touto řídicí jednotkou, a proto lze vykreslit, že je zařazen neutrál. Jinak by jej nešlo spolehlivě zobrazovat.

8.3.1 Nulování hodnot při zastavení motocyklu

Pokud se zastaví motocykl nebo je vypnut motor, tak za sekundu po nepřijetí přerušeni se vynulují změřené frekvence a zařazená rychlost se zapíše jako pomlčka.

8.4 Řízení displeje

V systému je využit výše zmiňovaný IPS displej o velikosti 480 na 320 pixelů s řadičem ST7796. Při inicializaci se nastaví rotace displeje, inverze barev a černé pozadí pro dobrou čitelnost.

8.4.1 Komunikace

Komunikuje přes SPI sběrnici. ESP má k dispozici dvě SPI periferie, a proto je jedna (softwarová) využita na tři obvody MAX31855 a druhá na displej (hardwarová). Díky tomu lze řídit frekvenci komunikace odděleně. Pro displej lze nastavit maximálně 80 MHz, ale ta se příliš nedoporučuje na tak dlouhé vzdálenosti. Podle doporučení je ideální okolo 20 MHz. Po praktickém vyzkoušení v provozu kupodivu fungovala i maximální. Je to díky dobrému návrhu a kvalitnímu provedení. Pro zaručenou funkčnost byla využita frekvence 40 MHz.

8.4.2 Ovládání

Pomocí knihovny dodávané výrobcem je zapisováno na displej po jednotlivých textech či číslech. Displej má možnost vložit microSD kartu pro grafické pozadí, ale prozatím toho nebylo využito. Text se tedy zapíše určitou velikostí a barvou na dané místo. Pro překreslení staré hodnoty je využit přepis starou hodnotou v černé barvě nebo přepis černým obdélníkem. První možnost je elegantnější a způsobuje méně blikání při překreslování.

8.5 Měření teplot

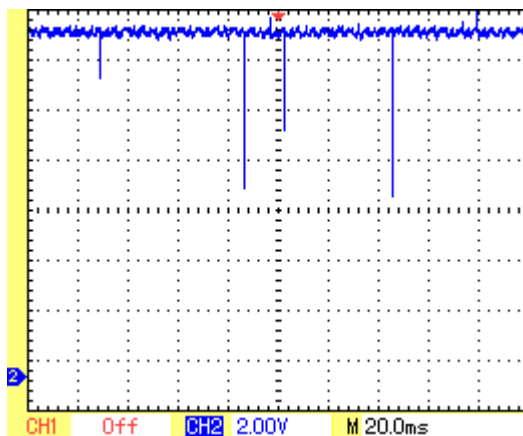
V samostatném procesu je obslouženo měření teplot. Do proměnných se funkcí přiřadí teplota změřená jednotlivými senzory. Pro účely vývoje se načítají i vnitřní teploty měřících obvodů. Při obnovování displeje se zobrazí změřené teploty. Pro dobrou indikaci se může vyhodnotit, zda je teplota v nějakých mezích a podle toho se může zobrazit na displeji v určité barvě. Řidič má tak na první pohled informaci o stavu motocyklu.

9 FUNKČNÍ TESTY

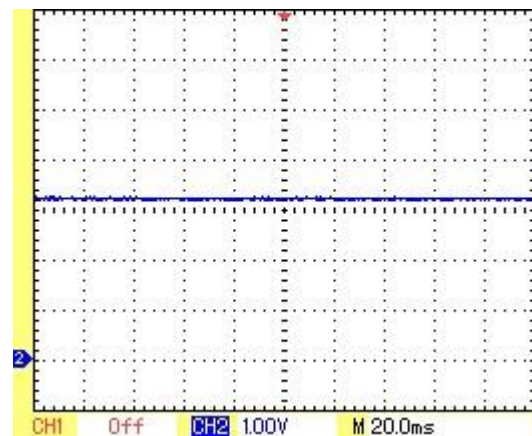
Byly provedeny testy osciloskopem pro zjištění kvality úpravy signálů od rušení. Tyto testy probíhaly při volnoběžných otáčkách. Samozřejmě byly provedeny i jízdní testy s měřením teplot.

9.1 Stabilizace napájení při zapnutém motoru

Motocykl je vybaven nejjednodušším regulátorem napětí a je tedy vhodné znát kvalitu filtrace napájení. Na záznamu 44 lze pozorovat velkou nestabilitu napájení. První je kolísání kolem 14 V s amplitudou 500 mV. Druhá je velký propad napětí o 6 V z důvodu sepnutí zapalovací cívky. Stabilizované napětí za měničem a LDO regulátorem je kvalitně stabilizované a bez propadů (záznam 45 níže). Podle záznamu je velikost napětí 3,2 V, ale podle multimetru je to stabilních 3,3 V. Výstup z měniče na 5 V je stejně dobře vyhlazený jako ten 3,3V na záznamu 45 níže. Kdyby stabilizace nedokázala pokrýt krátké propady, tak by bylo vhodné doplnit napájení elektrolytickým kondenzátorem.



Obrázek 44 časový průběh napětí palubní sítě 12 V



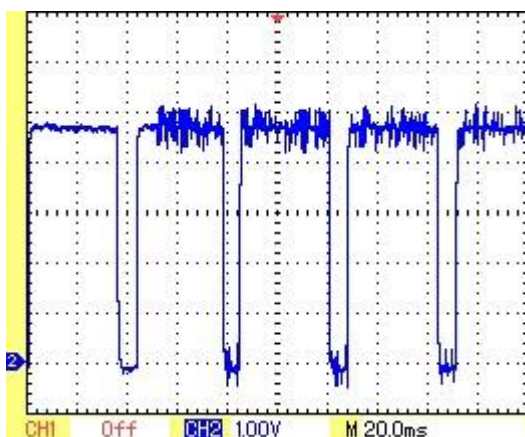
Obrázek 45 časový průběh stabilizovaného a sníženého napětí 3,3 V

9.2 Úprava digitálních signálů

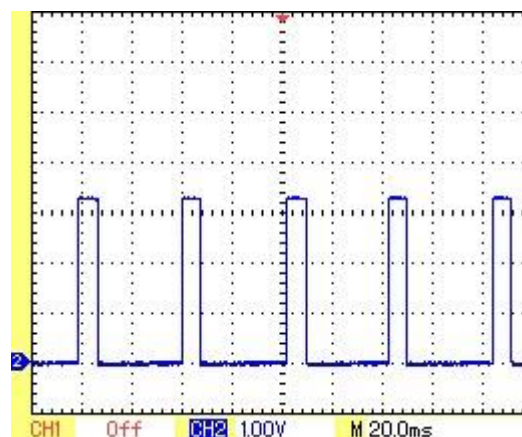
Schmittův klopný obvod funguje jako negovaný invertor, a proto jsou signály invertované. Pro měření frekvence to nemá žádný vliv. Výstupní úrovně z úpravy signálu jsou 0 V až 3,3 V, takže pro detekování ESP naprosto ideální.

9.2.1 Otáčky motoru

Signál obsahuje spoustu šumu a není dokonale obdélníkový. Jeho amplituda je 4,8 V (záznam 46). Po úpravě se hrany narovnají a signál je zbaven šumu. Výstupní amplituda je přesně 3,3 V (záznam 47). Zpracování signálu o otáčkách kola je naprosto totožné a stejně dobře odrušené.



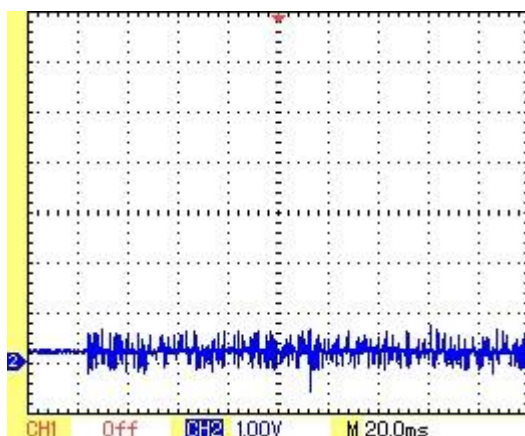
Obrázek 46 časový průběh signálu o otáčkách motoru před úpravou



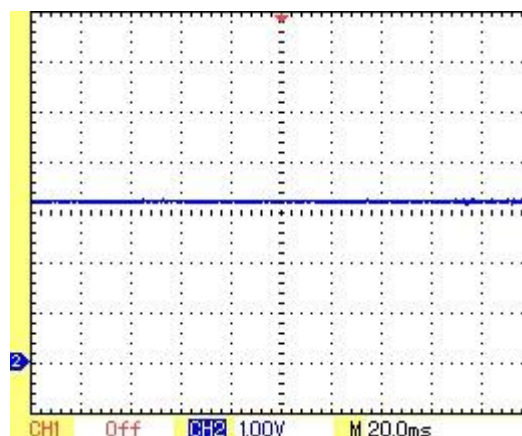
Obrázek 47 časový průběh signálu o otáčkách motoru po úpravě

9.2.2 Detekce zařazeného neutrálu

Když je zařazen neutrální, tak je na detektoru 0,15 V (kontrolka svítí). V případě jiné zařazené rychlosti je na detektoru 12 V. Na záznamu 48 níže je zobrazen průběh při zařazeném neutrálu. Nelze spolehlivě detekovat log. 0. Po úpravě signálu (záznam 49) lze spolehlivě odečítat logické úrovně.



Obrázek 48 časový průběh signálu o zařazeném neutrálu před úpravou



Obrázek 49 časový průběh signálu o zařazeném neutrálu po úpravě

9.3 Jízdní test

Po sestavení a naprogramování bylo provedeno několik zkušebních jízd. Bohužel testování probíhalo při teplotě okolí cca 20 °C namísto letních 35 °C. Změřené teploty budou tedy vyšší. Při testovací jízdě se upravovala náhledová tabulka pro určení převodu.

9.3.1 Ukazatel zařazené rychlosti

Motocykl má pouze jeden válec a velkou vůli mezi motorem a zadním kolem (převodové ústrojí a řetěz). Způsobuje to nepatrné odchylky při měření převodového poměru. Pro odladění náhledové tabulky bylo využito praktické měření v tabulce 4. Po správném nastavení byla provedena testovací jízda a ukazatel je spolehlivý a rychlý. Při zařazení neutrálu ukáže „N“. Když je poměr nejednoznačný, tak ukáže „-“. Jinak ukáže číslo zařazené rychlosti.

9.3.2 Dosažené teploty motoru a brzd

Změřené teploty budou vyšší o stejný přírůstek okolní teploty (v letních měsících o 15 °C). Při jízdě se velmi dobře chladí přední třmen. Naopak zadní se chladí velice špatně, takže jeho teplota téměř neklesá. On je totiž umístěn v závětrné straně a nemá žebrování. Hlava motoru se velice rychle zahřívá. Motor je chlazen pouze nápořem vzduchu, takže při jízdě mimo město dochází k vyššímu oteplení, ale zároveň se více chladí. Výsledkem je snížení teploty. Při jízdě ve městě teplota stoupne, protože se omezí chlazení. Při jízdě okolo 10 km/h se motor chladí jen minimálně, a proto jeho teplota vystoupá do vysokých teplot. Při stání na volnoběh je chlazení nejmenší a mohlo by dojít i k poškození motoru a přesně z toho důvodu bylo zkonstruováno toto zařízení. Zajímavostí je, že když po delším stání nastartujeme motor, tak se teplota nejprve snižuje, protože měříme na sacích ventilech, které jsou ochlazovány nasávaným vzduchem.

Naměřené teploty lze porovnat v tabulce 5 níže. Teplota brzd by byla ještě vyšší, ale jelikož jízda probíhala s touto jednotkou tak řidič již věděl, že musí ubrat na tempu, aby brzdy nezničil.

Tabulka 5 prakticky změřené provozní teploty řídicím systémem

Provozní režim jízdy (okolní teplota 20 °C)	Přední třmen [°C]	Motor [°C]	Zadní třmen [°C]
Po zahřátí – jízda ve městě	35	82	43
Po zahřátí – jízda mimo město	28	70	37
Po zahřátí – sportovní jízda mimo město	60	85	55
Po zahřátí – sportovní jízda ve městě	65	95	90
Sportovní jízda do vrchu	90	90	95
Po krátkém zchladnutí (10 min)	23	50	32
Při popojíždění v koloně	35	105	45
Při dlouhém stání a zapnutém motoru	-	130+	-

9.3.3 Zkouška vodotěsnosti

Zařízení bylo vyzkoušeno za provozu při jízdě za silného deště. Jízda trvala dvě hodiny a po celou dobu zařízení fungovalo jako za sucha. Naměřené teploty byly o pár jednotek stupňů celsia nižší než za sucha. Je to způsobeno tím, že tryskající voda více ochlazuje teplé komponenty. Po dokončení jízdy zařízení dále fungovalo. Úroveň vodotěsnosti určitě není na úrovni jako celá instalace motocyklu, ale pro tento vytvořený prototyp je naprosto dostačující.

9.3.4 Nastavení pracovních frekvencí

Maximální frekvence ESP je 240 MHz a displeje 80 MHz. Při takto vysokých frekvencích v tak zarušeném prostředí a 1,5 m dlouhým kabelem k displeji je obtížné, aby zařízení fungovalo bez problémů i za jízdy. I přes tyto teoretické obavy zařízení funguje a zobrazuje správně i na maximálních frekvencích, což je obdivuhodné. Pro jistotu byla snížena frekvence displeje na 40 MHz.

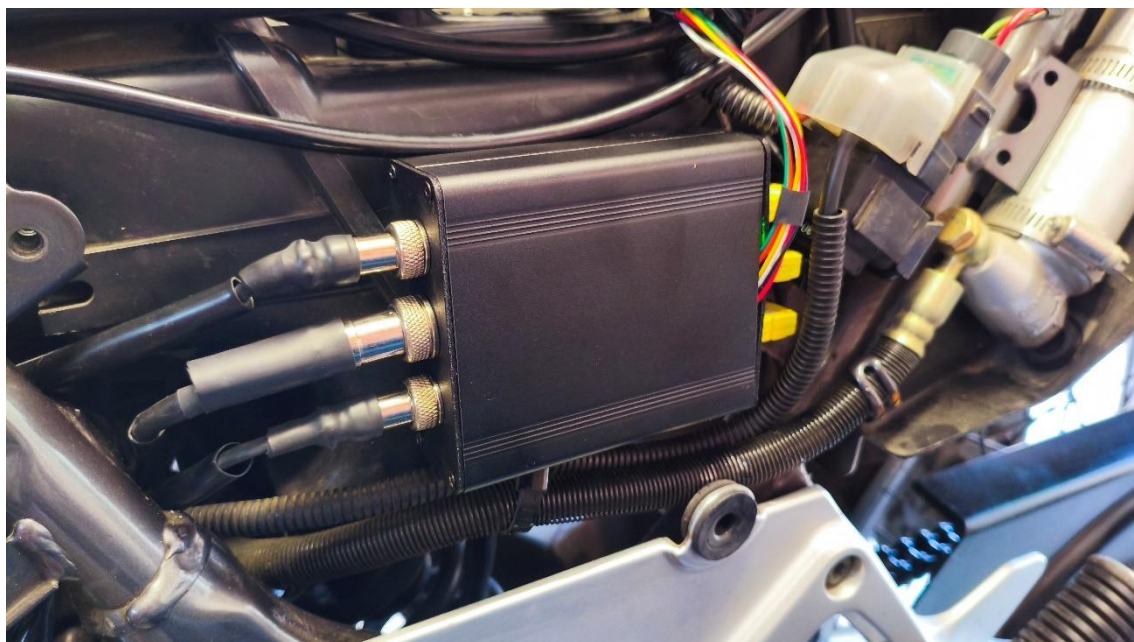
10 FINÁLNÍ VZHLED ZAŘÍZENÍ

Na obr. 50 níže jsou zobrazeny údaje na displeji po jízdě ve městě. V horní části je zobrazována zařazená rychlost. Níže jsou otáčky motoru (odpovídají těm na palubní desce). Pod nimi je rychlost vozidla. Oranžovým písmem je zobrazován převodový poměr (po vyladění nebude údaj zobrazován). Ve spodní části je iniciály naznačeno, čeho teplota je zobrazována. V závorce je údaj o teplotě studeného konce na DPS. Po vyladění zde bude zobrazována maximální dosažená teplota.



Obrázek 50 funkční zařízení při nastartovaném motocyklu a provozních teplotách

Níže na obrázku 51 je finální podoba řídicí jednotky. Vedou z ní tři signálové a napájecí svazky a tři termočlánkové vodiče. Celá jednotka je v kovovém obalu pro zlepšení EMC. Svazky jsou vedeny v ochranné bužírce. Kabelové konektory jsou opatřeny izolační vodotěsnou koncovkou.



Obrázek 51 řídicí jednotka pod sedlem motocyklu s kompletním uzavřením (zbývá jen odpojit programátor vpravo)

11 ZÁVĚR

V první části práce byl čtenář seznámen s principy fungování motocyklů. Tyto kapitoly jsou nezbytné pro pochopení účelu práce. Dále zde byla vypracována část, kde se čtenář seznámil s komerčně prodávanými řešeními. V práci bylo navrženo několik způsobů řešení různých problémů, ale vybráno bylo jen jedno. Celkem byly vytvořeny dva prototypy a jeden funkční celek.

Celý systém se skládá z řídicí jednotky, displeje, termočlánků a kabeláže. Vybrané řešení ukazatele rychlosti vychází z kapitoly 3.1.4. Získávání signálů z motocyklu je řešeno Schmittovým klopným obvodem, jak je popsáno v kapitole 4.3.2.. Prototyp zařízení byl sestaven a plně funkční. Splnil tedy předpoklad, že lze takové zařízení vůbec zkonstruovat. Měření převodových poměrů je tedy ověřený a funkční způsob detekce zařazené rychlosti. Převodové poměry byly experimentálně změřeny a odpovídají teoretickým (více v tabulce 4).

V práci je popsán kompletní návrh vlastní řídicí jednotky včetně DPS, která byla realizována a vyzkoušena. V práci je i návrh vodotěsného krytu displeje v 3D programu SolidWorks. Vyrobené termočlávkové snímače byly spolu s kabeláží a displejem namontovány na motocykl a nenarušují vzhled ani funkčnost motocyklu.

Po naprogramování byly provedeny jízdni testy a bylo zjištěno, že rychlost vozidla je na tachometru ukazována nepatrně vyšší než GPS. Zobrazovaná rychlost z řídicí jednotky sestrojené autorem práce dokonale odpovídá rychlosti podle GPS. Také změřené otáčky motoru odpovídají skutečnosti. Ukazatel zařazené rychlosti funguje dle předpokladů v pořádku a jeho odezva je naprosto dostačující. Stejně tak funguje detekce neutrálu. Dosažené teploty motoru odpovídají předpokladům, kdy se za jízdy motor dobře chladí, ale když se jízda zpomalí nebo zastaví, tak teplota vzroste k opravdu nebezpečně vysokým teplotám (viz. tabulka 5). Výsledkem je tedy funkční zařízení, které splňuje zadání práce.

Existují nápady na budoucí rozšíření. Například by se dalo měřit zrychlení a zpomalení motocyklu. Režim měření by se spustil třeba tak, že řidič bude stát na místě s neutrálem a na 5 sekund zvýší otáčky nad volnoběžné. Dalším nápadem je zobrazování teplot určitou barvou podle teploty brzd nebo motoru. Pokud by byl motor studený tak by teplota byla modrá a postupně by červenala s narůstající teplotou. Také by bylo vhodné zobrazovat nějaký obecný indikátor, zda jsou provozní teploty v pořádku či je potřeba na ně brát ohled. Tyto a další návrhy lze jednoduše aplikovat upravením programu v řídicí jednotce.

S tímto vytvořeným systémem je dosaženo zlepšení komfortu jízdy a velké zvýšení bezpečnosti. Systém nemá v komerční praxi obdoby, protože nelze sehnat tak komplexní zařízení.

LITERATURA

- [1] VLK, František. *Převodové ústrojí motocyklů*. Online. In: FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ VUT V BRNĚ. 2005. Dostupné z: <https://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-02-109-123.pdf>. [cit. 2025-01-05].
- [2] KRŮŽ, R.; AUDYOVÁ, J. a WEIGNER, K. *Stavba a provoz strojů II převody: Převody*. Praha: SNTL - nakladatelství technické literatury, 1978.
- [3] SUZUKI MOTOR CORPORATION. Service manual XF650 FREEWIND. Online. In: . 1996, s. 349. Dostupné z: https://www.moto4.ru/downloads/Suzuki_XF650_Freewind_Service_Manual.pdf. [cit. 2025-01-01].
- [4] CLASSIC-MOTORBIKES. *Brilliant biking inventions...Suzuki Advanced Cooling System (SACS)*. Online. In: CLASSIC-MOTORBIKES.NET. Dostupné z: <https://classic-motorbikes.net/brilliant-biking-inventionssuzuki-advanced-cooling-system-sacs/>. [cit. 2025-01-05].
- [5] BAKER, John. *DOT 3 and DOT 4 Brake Fluid: What's the Difference?* Online. In: AMSOIL. Dostupné z: <https://blog.amsoil.com/dot-3-and-dot-4-brake-fluid-whats-the-difference/>. [cit. 2025-01-05].
- [6] *Gipro X sada GPX-S01: pro SUZUKI XF650 FREEWIND*. Online. In: . Dostupné z: https://www.gipro.cz/cs/produkty/gipro-x-sada-gpx-s01__1192-135.html#/20-barva-cervena. [cit. 2025-01-05].
- [7] *Brake Temperature Indicator Sticker*. Online. In: DIXCEL CO., LTD. Dixcel Advanced Brake Technology. Dostupné z: <https://www.dixcel.co.jp/en/product/etc/thermal-strips/>. [cit. 2025-01-05].
- [8] *RACELOGIC Brake Temperature Monitoring*. Online. In: VBOX AUTOMOTIVE. Dostupné z: <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/products/sensors/brake-temperature-sensors>. [cit. 2025-01-05].
- [9] *3.5 Inch IPS LCD Module SPI Display 480x320 ST7796*. Online. In: AliExpress. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/1005006112241357.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.57.5f7d1802xPe9Mh. [cit. 2025-05-24].
- [10] TEXAS INSTRUMENTS. *SNx4HC14 Hex Inverters with Schmitt-Trigger Inputs*. Online. In: . 2021. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc14.pdf?ts=1736055301759>. [cit. 2025-01-05].

- [11] AWAGO TECHNOLOGIES. *6N135/6, HCNW135/6 HCPL-2502/0500/0501 Single Channel, High Speed Optocouplers*. Online. In: . 2010. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/dca6c33cf213481f16cae581918e7530/HCNW136-000E.pdf>. [cit. 2025-01-05].
- [12] *MAX31855 Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter*. Online. In: MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, INC. 2015. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX31855.pdf>. [cit. 2025-01-05].
- [13] *RECOM R-785.0-1.0 DC/DC converter*. Online. In: RECOM. Dostupné z: https://img.gme.cz/files/eshop_data/eshop_data/3/332-260/dsh.332-260.1.pdf. [cit. 2025-05-24].
- [14] *SRDA3.3-6 and SRDA05-6 RailClamp® Low Capacitance TVS Array*. Online. In: SEMTECH. Dostupné z: <https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/2R000000HTuj/OSRop9MOufFV2u1CGBrSpHe10w7w8c80GBTDU4fXZ.g>. [cit. 2025-05-24].
- [15] *Gipro X-Type G2 Ukazatel zařazené rychlosti Yamaha*. Online. In: Speedmoto.cz. Dostupné z: <https://www.speedmoto.cz/gipro-x-type-g2-ukazatel-zarazene-rychlosti-yamaha-x1150351>. [cit. 2025-01-05].

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

N	Neutrál
RPM	Revolutions Per Minute
SACS	Suzuki Advanced Cooling System
EMC	ElektroMagnetická Kompatibilita
EMI	ElektroMagnetická Imunita
ESD	ElectroStatic Discharge
HBM	Human Body Model
DPS	Deska Plošného Spoje
CVT	Continuously Variable Transmission
DSG	Direct Shift Gearbox
MCU	MicroController Unit
OZ	Operační Zesilovač
LDO	Low-Dropout Regulator
TFT	Thin Film Transistor
OLED	Organic Light Emitting Diode
FreeRTOS	Free Real Time Operating Dystem
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
SPI	Serial Peripheral Interface
FR-4	Flame Retardant level 4
HASL	Hot Air Solder Leveling
SMD	Surface Mounted Devices
THT	Through Hole Technology
MISO	Master In Slave Out
FTDI	typ programátoru
PET-G	PolyEthylenTereftalát modifikovaný Glykolem

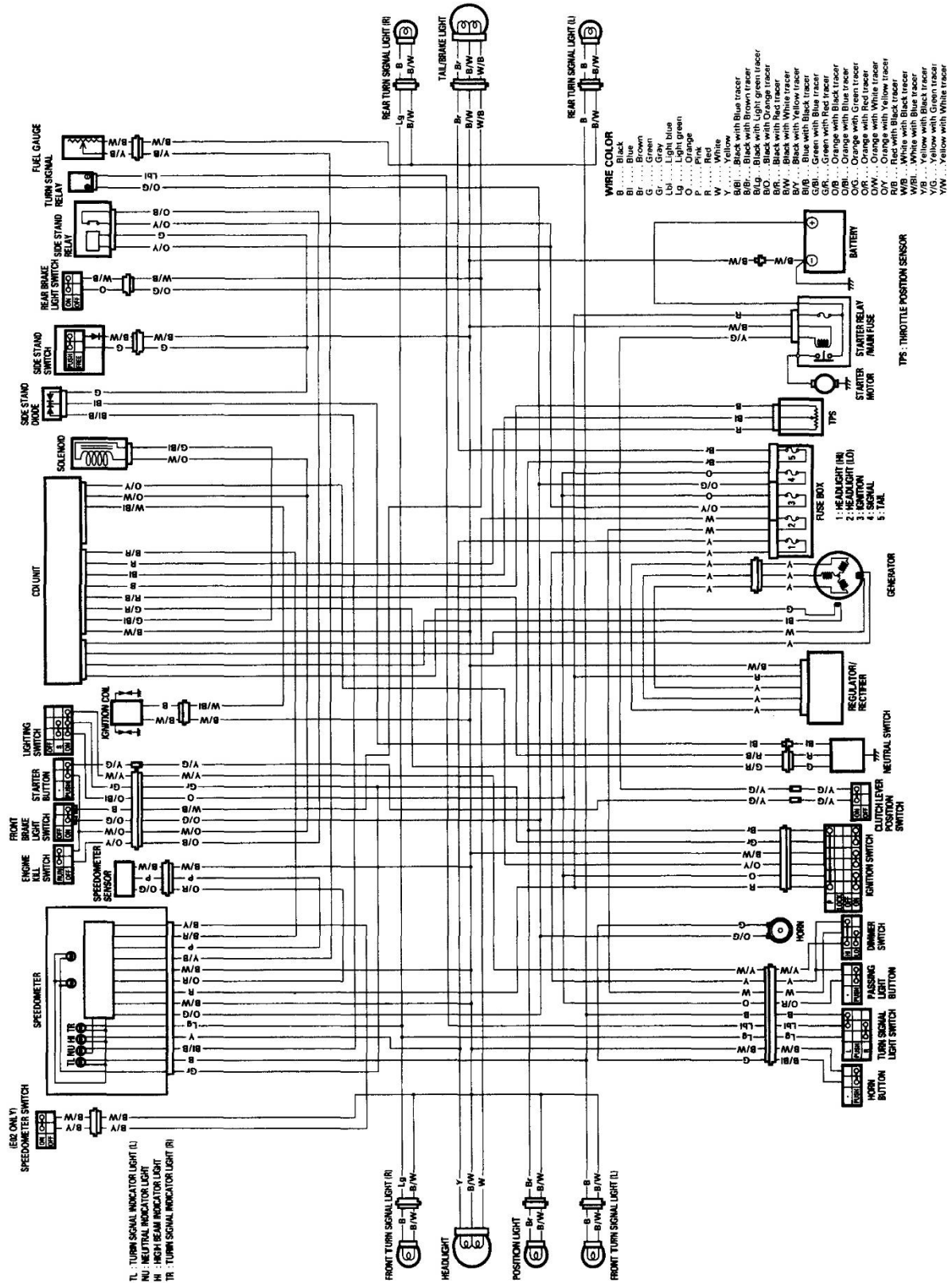
Symboly:

U	<i>napětí</i>	(V)
I	<i>proud</i>	(A)
P	<i>výkon</i>	(W)
f	<i>frekvence</i>	(Hz)
T	<i>perioda</i>	(s)
n	<i>převodový poměr</i>	$(-)$

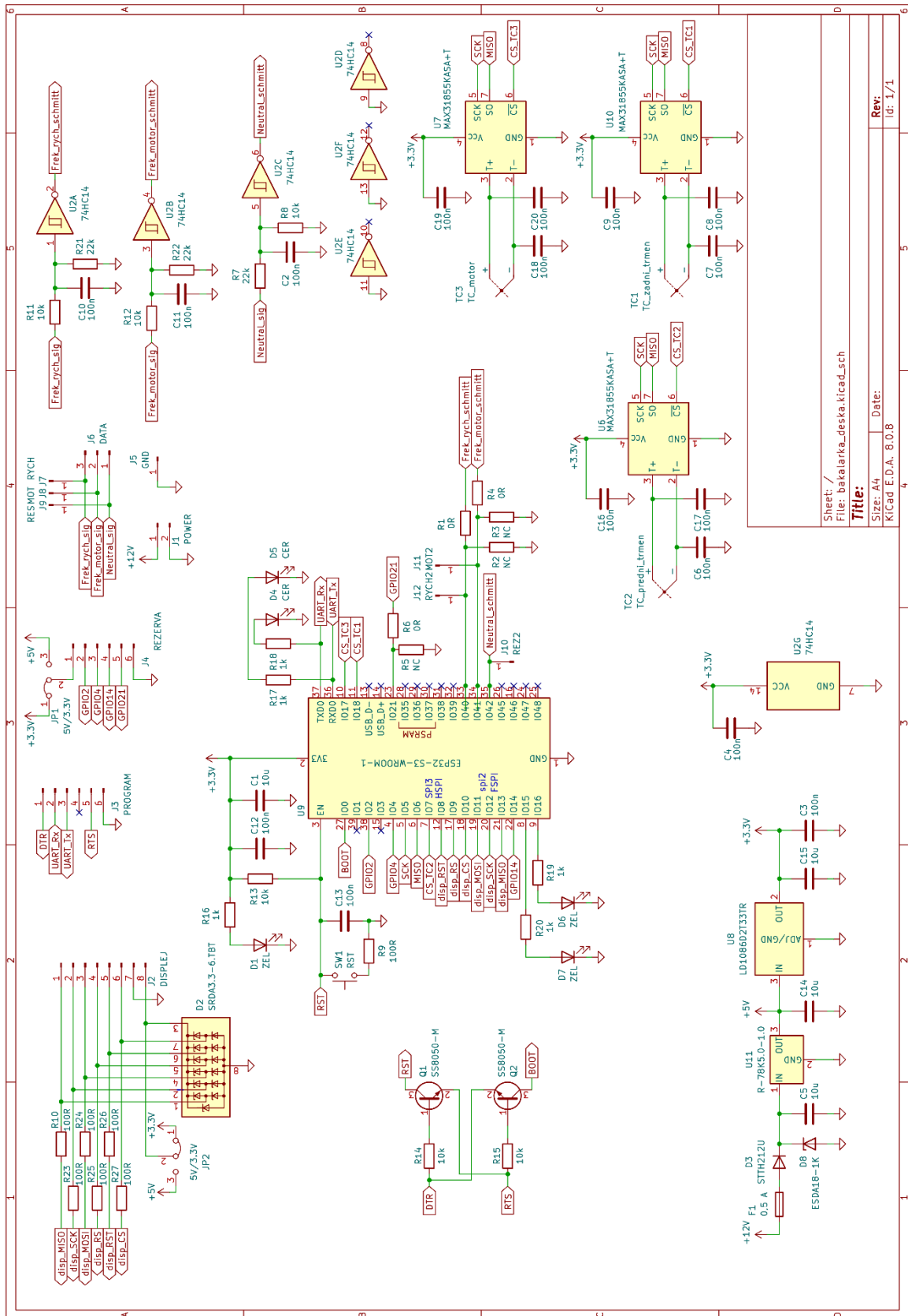
SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - SCHÉMA ZAPOJENÍ ELEKTROINSTALACE NA MOTOCYKLU SUZUKI XF650 [3]	54
PŘÍLOHA B - SCHÉMA ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY	55
PŘÍLOHA C - DPS	56
PŘÍLOHA D - ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA SYSTÉMU	57
PŘÍLOHA E - INFORMAČNÍ DISPLEJ S ÚDAJI	58

Příloha A - Schéma zapojení elektroinstalace na motocyklu SUZUKI XF650 [3]

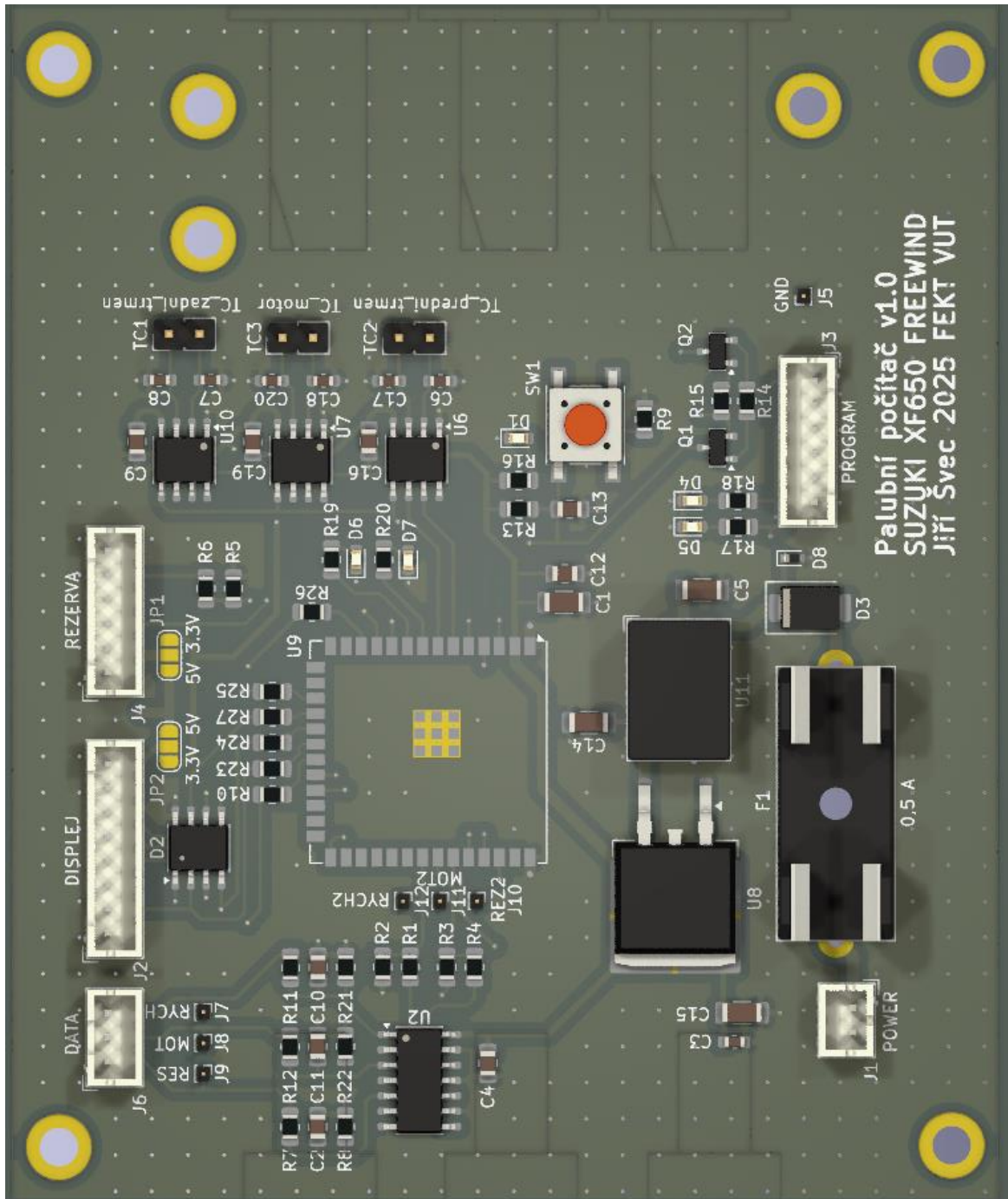


Příloha B - Schéma řídicí jednotky



Sheet: /
 File: bakalarka_deska.kicad_sch
Title:
 Size: A4 Date:
 KiCad E.D.A. 8.0.8
 Rev: /
 Id: 1/1

Příloha C - DPS



Příloha E - Informační displej s údaji

