

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Indikátor zařazené rychlosti na motocykl**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub VOCELKA**  
Osobní číslo: **E12B0073P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Název tématu: **Indikátor zařazené rychlosti na motocykl**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

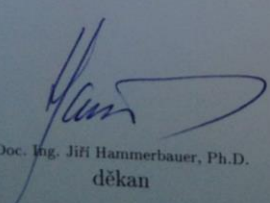
1. Analyzujte možnosti pro způsob vyhodnocování zařazeného stupně.
2. Navrhněte hardware zařízení, umožňující indikovat zařazený rychlostní stupeň.
3. Realizujte navržené řešení.
4. Vytvořte firmware, pro vytvořený hardware.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

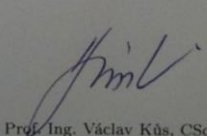
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analýzu možností vyhodnocování zařazeného rychlostního stupně na motocyklu a popisuje realizaci zařízení umožňujícího vyhodnocovat zařazený rychlostní stupeň.

## **Klíčová slova**

Vyhodnocení rychlostního stupně, princip měření otáček, spalovací motor, ukazatel rychlostního stupně

## **Abstract**

The bachelor thesis is focused on analyzing the possibilities of evaluating a current selected speed in the gearbox of a motorcycle and describing the realization of a device enabling to evaluate the selected speed.

## **Key words**

Current selected speed evaluation, the principle of measuring the rotation speed, combustion engine, gear indicator

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni, dne 8.6.2015

Jméno příjmení

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval za cenné profesionální rady, připomínky a vedení práce panu Ing. Jiřímu Žahourovi a vedoucímu bakalářské práce Ing. Kamilu Kosturikovi, Ph.D.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1. ANALÝZA MOŽNOSTÍ VYHODNOCOVÁNÍ ZAŘAZENÉHO RYCHLOSTNÍHO STUPNĚ</b> .....	<b>11</b>
1.1 SNÍMÁNÍ POLOHY ŘADICÍ PÁKY .....	11
1.2 POUŽITÍ SADY ČIDEL VESTAVĚNÝCH V PŘEVODOVCE MOTOCYKLU .....	11
1.3 POROVNÁVÁNÍ RYCHLOSTI OTÁČENÍ MOTORU A OKAMŽITÉ RYCHLOSTI MOTOCYKLU.....	12
1.3.1 Možnosti snímání rychlosti motocyklu .....	12
1.3.2 Možnosti snímání rychlosti otáčení motoru .....	13
1.4 VÝHODY A NEVÝHODY JEDNOTLIVÝCH SYSTÉMŮ.....	16
<b>2 NÁVRH HW ZAŘÍZENÍ PRO INDIKACI ZAŘAZENÉHO RYCHLOSTNÍHO STUPNĚ</b> .....	<b>17</b>
2.1 ZÁKLADNÍ KOSTRA ZAŘÍZENÍ .....	17
2.2 POPIS JEDNOTLIVÝCH BLOKŮ ELEKTRONICKÉHO OBVODU .....	18
2.2.1 Napájecí obvod .....	18
2.2.2 Obvod pro snímání otáčení kola .....	19
2.2.3 Obvod pro snímání otáčení motoru.....	20
2.2.4 Tlačítka a signalizační LED.....	20
2.2.5 LED displej .....	21
2.2.6 Mikrokontrolér.....	22
2.2.7 Programovací rozhraní.....	23
2.2.8 Kompletní schéma zapojení .....	23
<b>3 REALIZACE ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>24</b>
3.1 ZÁKLADNÍ NÁVRH UMÍSTĚNÍ UKAZATELE NA MOTOCYKLU .....	24
3.2 VÝBĚR PLASTOVÝCH KRABÍČEK PRO UMÍSTĚNÍ PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	24
3.2.1 Krabíčka pro LED displej .....	24
3.2.2 Krabíčka pro ostatní elektroniku .....	25
3.3 NÁVRH DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	25
3.4 VÝROBA A OSAZENÍ PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	27
3.5 OŽIVENÍ OBVODU .....	28
3.5.1 Napájecí obvod .....	28
3.5.2 Obvod pro snímání otáčení motoru.....	28
3.5.3 Obvod pro snímání otáček kola .....	29
<b>4 NÁVRH FIRMWARE</b> .....	<b>30</b>
4.1 PRINCIP ČINNOSTI FIRMWARE .....	30
4.2 DETAILNĚJŠÍ POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ PROGRAMU .....	31
4.2.1 Měření času mezi přerušeními vyvolanými otočením motoru .....	32
4.2.2 Měření času mezi přerušeními vyvolanými otočením kola motocyklu .....	32
4.2.3 Komunikace s LED displejem .....	33
4.2.4 Zápis a čtení EEPROM.....	33
4.2.5 Pomocné algoritmy ke zlepšení přesnosti a stability měření.....	34
4.2.6 Kalibrace .....	35
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>37</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>38</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>39</b>



## Seznam symbolů a zkratek

DPS .....	Deska plošných spojů
R.....	Rezistor
C.....	Kondenzátor
D.....	Dioda
IC .....	Integrovaný obvod
SV .....	Konektor
S .....	Mechanický kontakt, tlačítko
LED.....	Světlo vyzařující dioda
MCU .....	Mikrokontrolér
PC.....	Osobní počítač
USB.....	Univerzální sériový port
D/A.....	Digitálně analogový
V.....	Volt
μs.....	Mikrosekunda
SPI.....	Sériové komunikační rozhraní
HW.....	Hardware
VN.....	Vysoké napětí USBDM
USBDM .....	Universal serial background debugging module

## Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analýzu možností vyhodnocování zařazeného rychlostního stupně na motocyklu a popisuje realizaci zařízení umožňujícího vyhodnocovat zařazený rychlostní stupeň.

Text je rozdělen do čtyř částí; první se zabývá analýzou možností vyhodnocování zařazeného rychlostního stupně, ve druhé části je popsán návrh hardware zařízení pro indikaci zařazeného rychlostního stupně, třetí část práce řeší realizaci navrženého zařízení a v poslední části je vysvětleno, jakým způsobem pracuje software obsluhující toto zařízení.

# 1. Analýza možností vyhodnocování zařazeného rychlostního stupně

Ukazatel může vycházet z informací, které jsou na motocyklu k dispozici, nebo musí informace potřebné k vyhodnocení zařazené rychlosti získat z vlastních senzorů. Zejména na modernějších motocyklech bývá k dispozici dostatek informací z již namontovaných senzorů a pro některé metody vyhodnocování rychlostního stupně tedy již není třeba připojovat další. To je velmi výhodné z hlediska jednoduchosti instalace, ceny, ale i spolehlivosti celého zařízení.

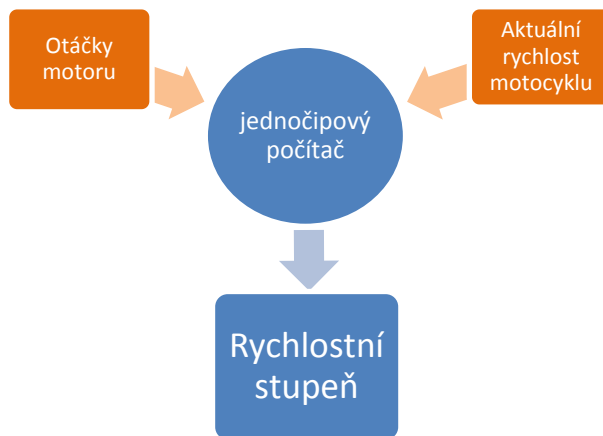
## 1.1 Snímání polohy řadicí páky

Nejjednodušším způsobem je snímat přímo pohyb řadicí páky. Ke snímání lze využít například magnet připevněný na řadicí páce a dvě Hallovy sondy umístěné v konečných polohách řadicí páky. Výhodou je, že zařízení má údaj o přeřazení k dispozici okamžitě a zobrazený údaj tak lze zobrazit bez jakékoli prodlevy. Problém ovšem nastává, pokud je na motocyklu přeřazeno po vypnutí ukazatele zařazené rychlosti, což by nastalo po vypnutí spínací skříňky. Program má totiž k dispozici pouze údaj o změně rychlostního stupně nahoru nebo dolů. Pokud mu nějaká změna „unikne“, celé zobrazování se o stupeň posune. Tento problém lze eliminovat tím, že je zařízení stále aktivní i po vypnutí a vyjmutí klíčků z motocyklu. Zde ale nastává problém stálého vybíjení akumulátoru motocyklu, ze kterého je zařízení napájeno. Další způsob, který sice problém úplně neeliminuje, ale omezí, je indikátoru poskytnout ještě údaj o zařazeném neutrálu, který je k dispozici na drtivé většině motocyklů. Vždy přes „přejetí“ přes neutrální se pak zařízení automaticky zkalibruje a případnou nezaznamenanou změnu zařazené rychlosti vynuluje. I přes svou nedokonalost je několik takových zařízení na trhu a rozhodně nelze říci, že by tento princip byl nepoužitelný. Pouze má nějaká úskalí, se kterými je nutné počítat.

## 1.2 Použití sady čidel vestavěných v převodovce motocyklu

Tento způsob lze využít jen u motocyklů, které mají v převodovce již z výroby vestavěná čidla, respektive kontakty, které se propojují při řazení různých rychlostních stupňů. Tento způsob je velmi přesný, vyhodnocení je jednoduché a bez prodlev. Nevýhodou je, že tímto systémem musí být motocykl vybaven již při výrobě a dodatečná montáž tohoto systému na motocykl, který jím nebyl vybaven již při výrobě, je bez větších zásahů nemožná.

### 1.3 Porovnávání rychlosti otáčení motoru a okamžité rychlosti motocyklu



Obr. 1. 1 Schématické zobrazení funkce vyhodnocování zařazeného rychlostního stupně

Princip využívá faktu, že pro jeden zařazený rychlostní stupeň je poměr mezi rychlostí otáčení motoru a otáčení zadního kola motocyklu pevný. Poměr se změní na další pevnou hodnotu při přeřazení na jinou rychlost. Indikátor vyhodnocující zařazenou rychlost tímto způsobem je univerzální a může fungovat na jakémkoli motocyklu. Při dobře navrženém software je přesný a bezchybný. Nevýhodou je prodleva mezi

přeřazením a zobrazením nové rychlosti, která bývá u lepších komerčně vyráběných indikátorů kolem 0,5s. Další problém pak spočívá v případech, kdy je vystavena spojka. Tento stav není indikátor schopen vyhodnotit, jelikož mezi rychlostí motocyklu a motoru není pevný poměr.

#### 1.3.1 Možnosti snímání rychlosti motocyklu

##### 1.3.1.1 Motocykl s analogovým tachometrem/bez tachometru

Pokud motocykl nemá elektronické snímání rychlosti, je nutné čidlo přidat. Rychlost je možné snímat několika způsoby:

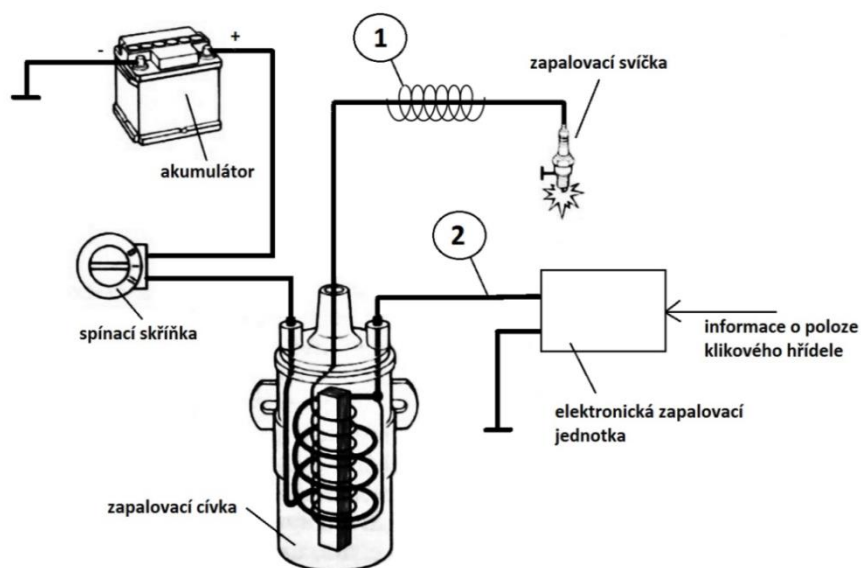
- **Hallovým senzorem umístěným na kyvné vidlici** – zde je nutné na zadní kolo umístit magnet. Jako nejvhodnější se jeví jej umístit co nejbližší ke středu kola, protože zde na něj budou působit nejmenší odstředivé síly. Hallova sonda není náchylná na znečištění, které lze poblíž mastného řetězu předpokládat, tudíž se toto řešení jeví jako velmi vhodné a spolehlivé. Nasazením dvou nebo i více rovnoměrně rozložených magnetů navíc lze zrychlit odezvu celého zařízení na změnu rychlosti.
- **Jazýčkový kontakt umístěný na kyvné vidlici** – opět je nutné připevnit magnet na kolo. Toto řešení se využívá na jízdnicích kolech. Problém je ale s životností mechanického kontaktu, která i na jízdnicích kolech bývá pouze v řádech tisíců kilometrů, což není příliš. Výhoda je pouze v jednoduchosti a finanční nenáročnosti řešení. Jazýčkovému kontaktu stačí pouze dva vodiče, kdežto Hallův senzor vyžaduje pro svou funkci minimálně 3 vodiče.
- **Snímání na optickém principu** je kvůli náchylnosti k znečištění nevhodné.

### 1.3.1.2 Motocykl s elektronickým tachometrem

Pokud má motocykl již z výroby zabudované elektronické snímání rychlosti, je možné informace z tohoto čidla využít. Ve většině případů je snímání rychlosti motocyklu na principu magnet - Hallova sonda. Snímací element bývá často umístěn u výstupu z převodovky na hřídeli, která otáčí řetězovým kolečkem nebo kardanovým hřídelem. Někdy výrobce integruje magnet například do brzdového kotouče a Hallovu sondu do brzdiče.

### 1.3.2 Možnosti snímání rychlosti otáčení motoru

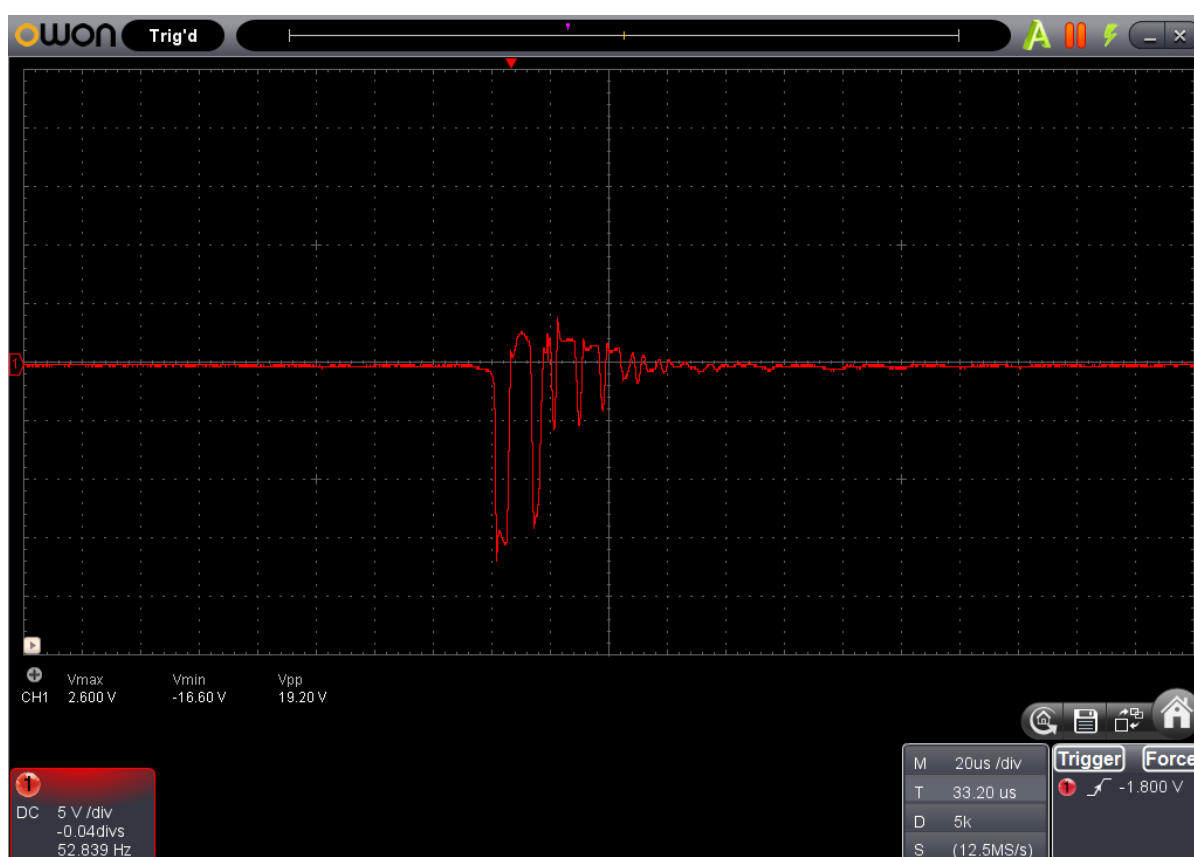
Ať už je na motocyklu z výroby nainstalován analogový tachometr poháněný šnekovým ozubením na klikovém nebo vačkovém hřídeli, není nainstalován vůbec nebo je použit elektronický, na každém motocyklu je nainstalován snímač otáček kvůli zapalovací soustavě. Na starých motocyklech se používal kontakt – tzv. kladívka, který v určité poloze klikového hřídele odpojí primární stranu zapalovací cívky. Na té, při snaze zachovat si původní proud, vznikne napětí až několik stovek voltů. Toto napětí je dále transformováno na sekundární stranu cívky na hodnotu několika tisíc voltů a přivedeno na zapalovací svíčku, kde dojde k přeskoku jiskry. Dnes se již používají bezkontaktní snímače polohy klikového hřídele a místo kladívek se používají tranzistory řízené číslicovými obvody, které mění předstih v závislosti na dalších parametrech. Ať už u mechanické nebo u elektronické zapalovací soustavy se informace o otáčkách objeví, coby sled impulzů, na vstupu (číslo 1 v Obr. 1. 2) i výstupu zapalovací cívky, kde je nutno kvůli vysokému napětí snímat skrze pomocnou cívku (číslo 2 v Obr. 1. 2). Tyto impulzy pak lze přímo využít pro snímání rychlosti otáčení motoru za účelem zobrazování zařazeného rychlostního stupně.



Obr. 1. 2 Schéma zapalovací soustavy motocyklu [5]

### 1.3.2.1 Snímání rychlosti otáčení motoru pomocí impulzů zapalovací soustavy na primární straně indukční cívky

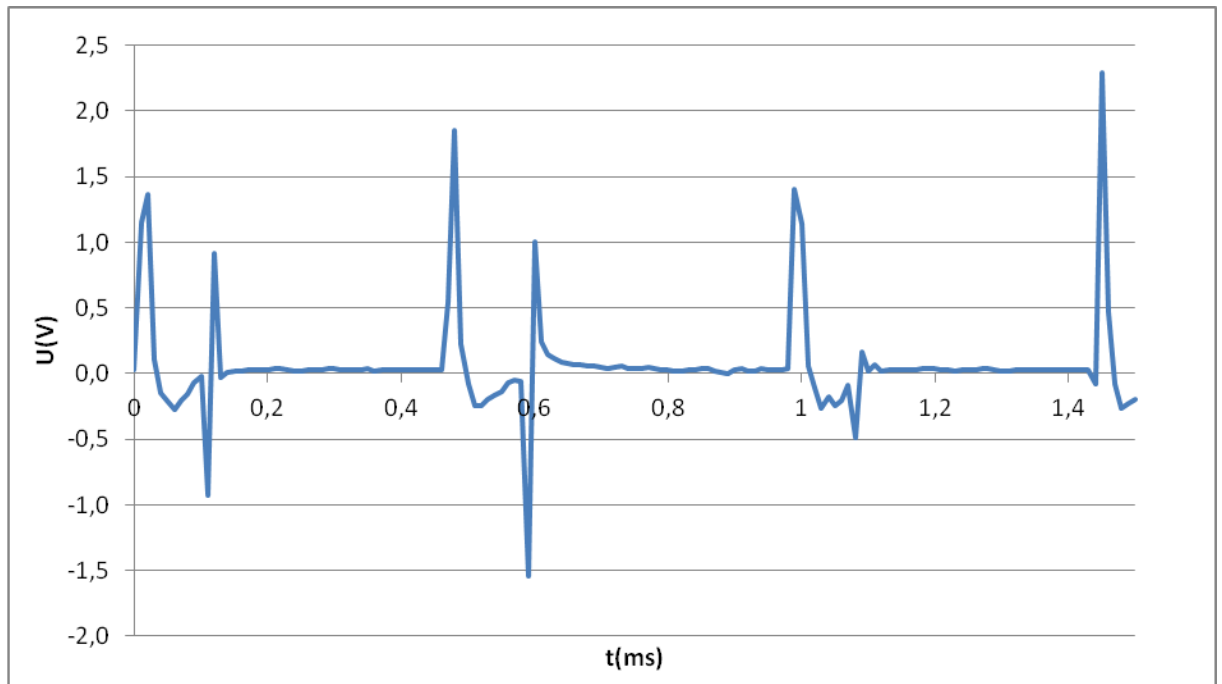
Na primární straně indukční cívky (číslo 2 na *Obr. 1. 2*) lze impulzy bez problémů snímat a přes jednoduchý oddělovací obvod přivést na vstup mikrokontroléru. V programu pak stačí nastavit reakci pouze na první ze shluku impulzů. To lze udělat například pozastavením snímání impulzů na krátký okamžik a to bezprostředně po té, co přijde první impulz. Po cca  $60\mu\text{s}$  je nutné snímání opět aktivovat. Jeden takto naměřený impulz pak znamená jedno otočení motoru.



*Obr. 1. 3 Tvar impulzů na primární straně zapalovací cívky – měřeno s obrácenou polaritou*

### 1.3.2.2 Snímání rychlosti otáčení motoru pomocí impulzů zapalovací soustavy na sekundární straně indukční cívky

Na sekundární straně zapalovací cívky je kvůli přítomnosti vysokého napětí možné a nutné snímat impulzy bezkontaktně. Bezkontaktní snímání má tu výhodu, že je vstup mikrokontroléru automaticky galvanicky oddělen od zapalovací soustavy. Impulzy zde lze snímat namotáním několika závitů vodiče okolo VN kabelu vedeného mezi zapalovací cívkou a zapalovací svíčkou (bod 1 na *Obr. 1. 2* výše).



*Obr. 1. 4 Průběh napětí naindukovaného do 4 závitů vodiče namotaného okolo VN kabelu zapalovací svíčky*

## 1.4 Výhody a nevýhody jednotlivých systémů

Každý ze zmíněných systémů má nějaké klady a nějaké zápory, které jsou shrnuty v následující tabulce. Symbol „+“ značí klad, což je vlastnost, která je vhodná. Naopak symbol „-“ značí zápornou vlastnost.

Tab. 1.1 Shrnutí vlastností jednotlivých způsobů vyhodnocování zařazeného rychlostního stupně

	Snímání polohy řadicí páky	Snímání pomocí čidel vestavěných v převodovce	Porovnávání rychlosti otáčení motoru a okamžité rychlosti motocyklu
<b>Uživatelská hlediska</b>			
Doba odezvy	++	++	-
Přesnost	+	++	+
Funkční na stojícím motocyklu	+	+	-
Univerzálnost	++	--	++
Nutnost externích čidel	--	++	+
Složitost montáže externích čidel	--	++	+
<b>Výrobní hlediska</b>			
Složitost firmware	+	++	--
Složitost hardware	--	+	-
Cena výroby	+	-	+

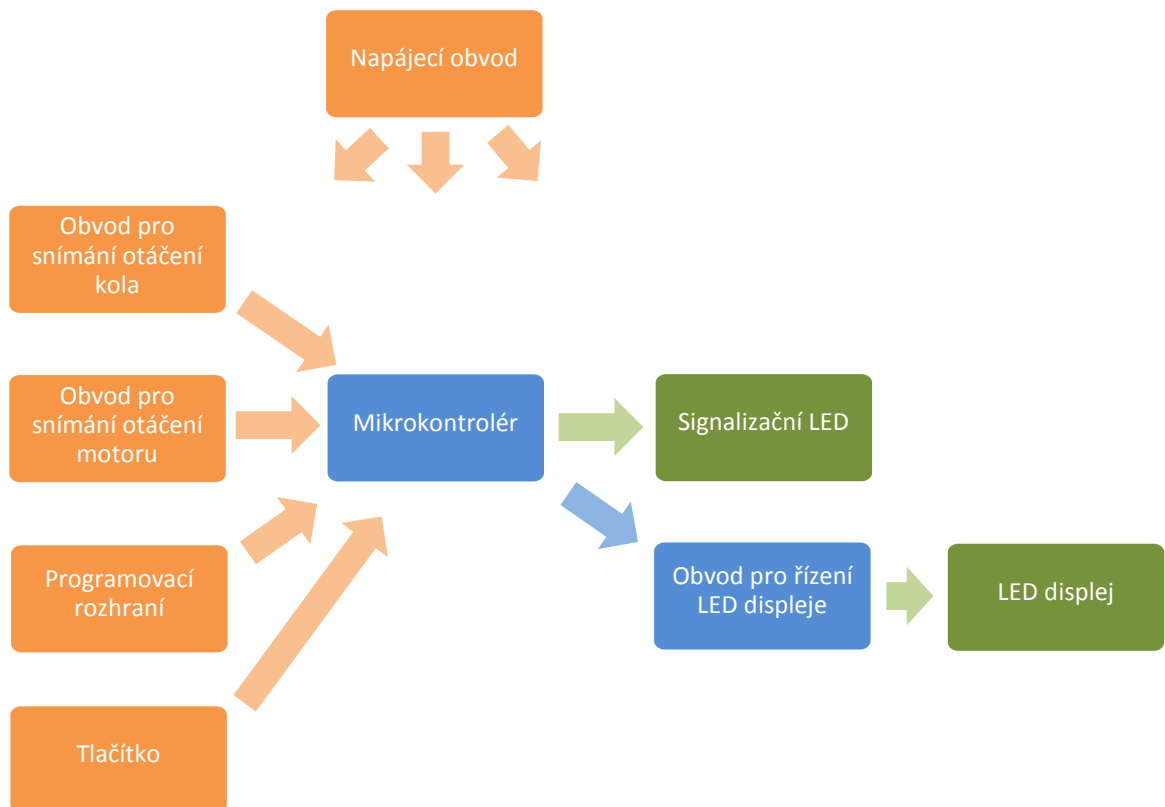


## 2 Návrh HW zařízení pro indikaci zařazeného rychlostního stupně

Kapitola se zabývá hardwarem ukazatele zařazeného rychlostního stupně pracujícího na principu z kapitoly 1.3 a to porovnávání aktuální rychlosti motocyklu a rychlosti otáčení motoru

### 2.1 Základní kostra zařízení

Základem celého zařízení je mikrokontrolér. Ten ale není schopen pracovat přímo s palubním napětím motocyklu, a proto je potřeba do zařízení zahrnout napájecí obvod s regulačním, stabilizačním a pro případ poruchy i jisticím prvkem. Dále je nezbytný obvod pro přijímání impulzů ze zapalovací soustavy motocyklu a vstupní obvod pro Hallovu sondu. Nakonec je třeba ještě obvod řídicí jednotlivé segmenty LED displeje.



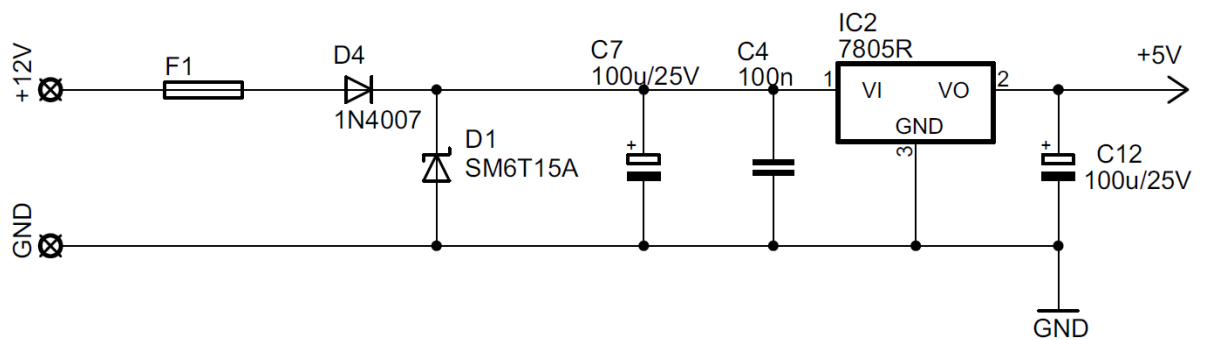
Obr. 2. 1 Základní struktura zapojení

## 2.2 Popis jednotlivých bloků elektronického obvodu

Následující kapitola popisuje jednotlivé části elektronického obvodu naznačeného na *Obr. 2. 1.*

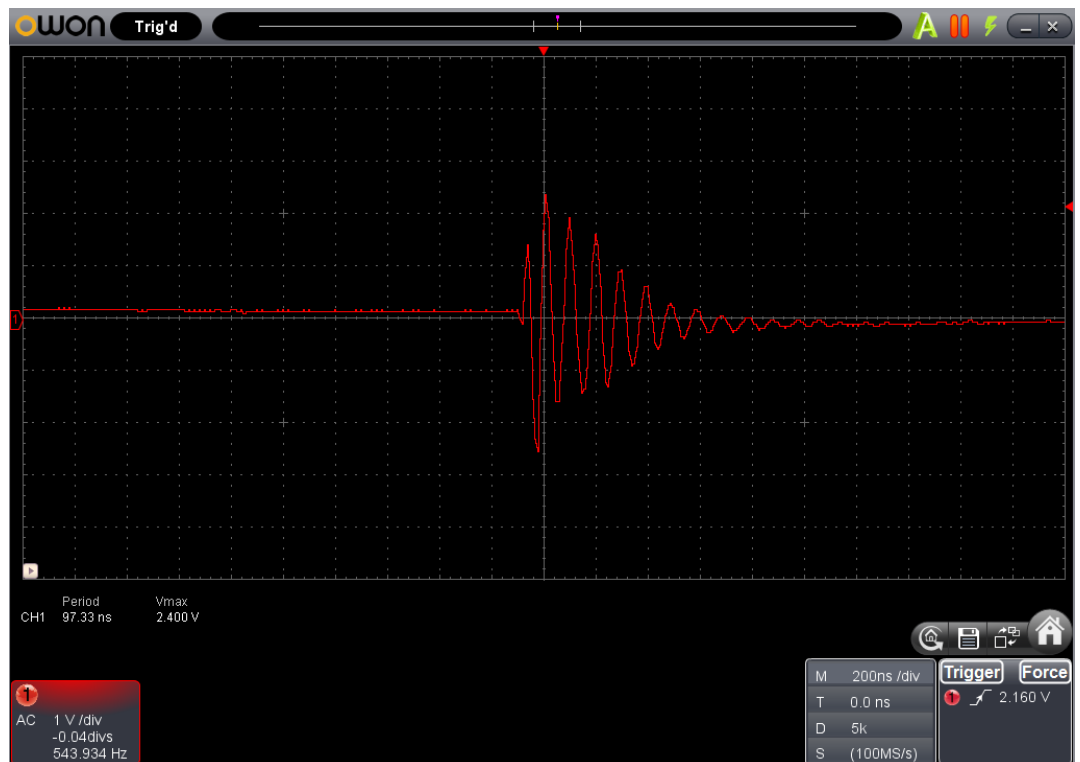
### 2.2.1 Napájecí obvod

Napájecí obvod má za úkol snížit palubní napětí motocykl na úroveň, se kterou jsou schopny pracovat všechny části obvodu a zabezpečit, aby napětí bylo stabilní a nekolísalo. Vstupní napětí se běžně pohybuje mezi  $12 \div 14,5\text{V}$  dle typu motocyklu a stavu akumulátoru. Palubní napětí rovněž vzrůstá po nastartování a také při zvýšení otáček motocyklu. Také se zde mohou objevit krátkodobé přepětíové špičky vznikající spínáním a rozpínáním indukční cívky v zapalovací soustavě nebo naindukované z VN kabelů napájejících zapalovací svíčky.



*Obr. 2. 2 Schéma napájecího obvodu*

- Dioda D4 zajišťuje účinnou ochranu proti nechtěnému přepólování zařízení. Pokud by došlo k připojení s opačnou polaritou, dioda bude polarizována v závěrném směru a nepustí dostatečný proud, který by jinak mohl poškodit zbylou elektroniku.
- Supresorová dioda (transil) D2 společně s tavnou pojistkou F1 zabezpečuje účinnou ochranu proti přepětí. Prahové napětí transilu je zvoleno 15V. Po překročení této hodnoty dojde k nedestruktivnímu průrazu a transil začne propouštět napětí v závěrném směru. Výhoda této součástky je v její rychlosti. Transil má velmi krátkou vybavovací dobu a je tak vhodný pro potlačení krátkodobých přepětíových špiček. Aby při déletrvajícím přepětí nedošlo ke zkratu obvodu nebo poškození transilu, je obvod vybaven ještě tavnou pojistkou. Přepětí, indukující se do palubní sítě ze zapalování, je vidět na *Obr. 2. 3* níže.

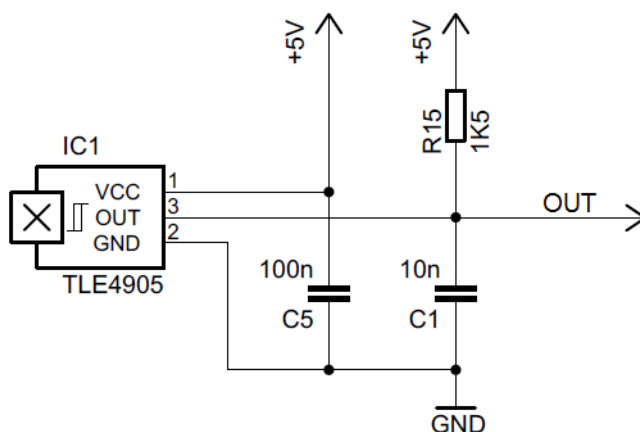


Obr. 2. 3 Přepětí indukované do palubní sítě motocyklu vlivem činnosti zapalovací soustavy

Obvod IC2 je napěťový stabilizátor s označením 7805 udržující mezi vývody 2 a 3 konstantní napětí o velikosti 5V. Kondenzátory C4 a C7 vycházejí z katalogového zapojení integrovaného obvodu 7805 a slouží k omezení rychlých změn napětí na vstupních svorkách stabilizátoru a zaručují tak ochranu proti rozkmitání obvodu. Kondenzátor C12 vychází rovněž z katalogového zapojení a omezuje případné prudké změny v odebíraném proudu, které by také mohly způsobit nestabilitu stabilizátoru.

### 2.2.2 Obvod pro snímání otáčení kola

Obvod je katalogovým zapojením Hallovy sondy TLE4905. Tato součástka má

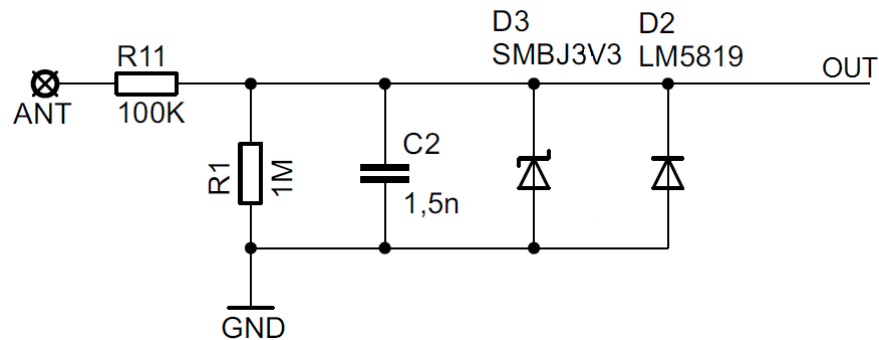


zabudovaný operační zesilovač a reaguje na přiblížení magnetu sražením výstupního napětí na nulu. Po oddálení magnetu díky pull-up rezistoru R15 opět výstupní napětí skočí na úroveň napájecího napětí. Kondenzátor C5 je zde opět kvůli filtrování napájecího napětí.

Obr. 2. 4 Schéma obvodu pro snímání otáčení kola

### 2.2.3 Obvod pro snímání otáčení motoru

Úkolem obvodu je zajistit, aby se na vstup mikrokontroléru dostaly pulzy v měřitelné podobě. Dále musí zabezpečit, aby napětí impulzů ani při namotání mnohem více závitů okolo VN kabelu k zapalovací svíčke, nepřesáhlo povolené vstupní napětí mikrokontroléru. Obvod by měl být také schopen snímání jak při přímém, galvanickém připojení k primární straně indukční cívky, tak při bezkontaktním snímání ze sekundární strany zapalovací cívky.

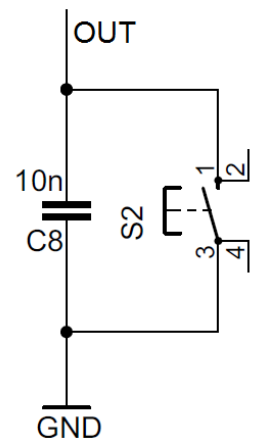


Obr. 2. 5 Schéma obvodu pro snímání otáček motoru

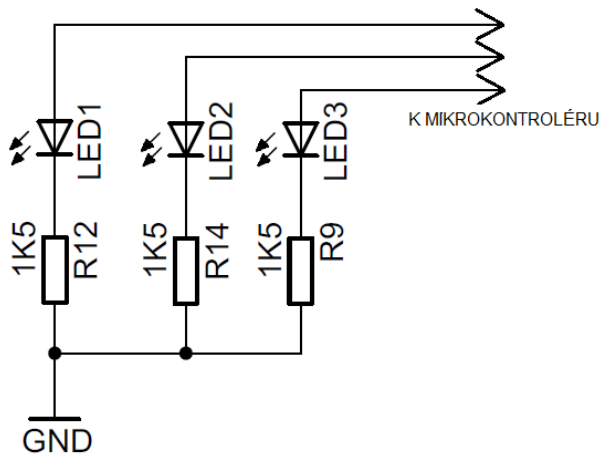
Rezistor R11 omezuje proud vstupující do obvodu v případě, že obvod připojíme galvanicky k primární, nízkonapětové straně zapalovací cívky. S rezistorem R1 pak tvoří dělič vstupního napětí. Rezistor R1 pak funguje také jako vybíjecí rezistor pro kondenzátor C2, který je zde z důvodu vyhlazení vstupního signálu. Schottkyho dioda D2 odstraňuje záporné části vstupního napětí. Transil D3 s prahovým napětím 3,3V slouží jako ochrana před příliš vysokým kladným napětím. Při napětím vyšším než 3,3V se prudce zvedne jeho vodivost v závěrném směru, prudce stoupne proud skrz R11, zvýší se úbytek napětí na R11 a napětí ve zbytku obvodu klesne na bezpečnou mez. Výstup z obvodu je takto připraven na přímé napojení ke komparátoru integrovanému v mikrokontroléru.

### 2.2.4 Tlačítka a signalizační LED

Tlačítko je v obvodu nutné pro kalibrování ukazatele z důvodu jeho univerzálnosti. Obvod s tlačítkem z důvodu ušetření množství součástek využívá pull-up rezistor integrovaný v mikrokontroléru. Kondenzátor C8 je zde pro eliminaci zakmitnutí při sepnutí mechanického kontaktu tlačítka, které by mikrokontrolér mohl vyhodnotit jako vícenásobný stisk.



Obr. 2. 6 Schéma obvodu tlačítka

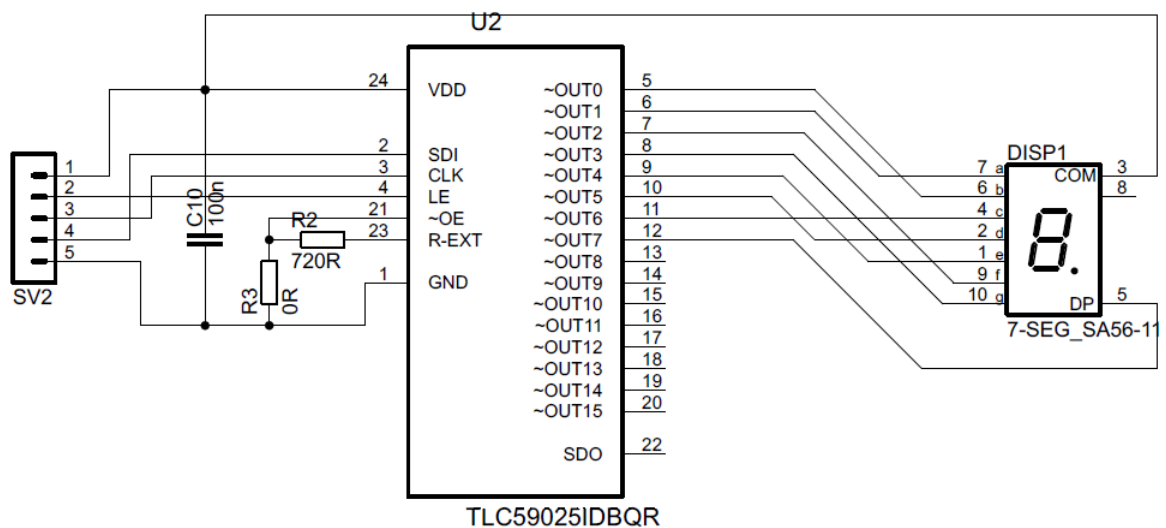


Obr. 2. 7 Schéma obvodu signalizačních LED

Signalizační nízkopříkonové LED slouží pro indikaci přijetí impulsu od motoru a od Hallovy sondy. Napájeny jsou přímo z brány mikrokontroléru a jejich proud je omezen sériovými rezistory.

## 2.2.5 LED displej

Jako zobrazovací prvek je použit jednoduchý sedmissegmentový LED displej. Displej je zvolen vysoce svítivý kvůli dobré čitelnosti na přímém slunci. Jelikož bude displej umístěn odděleně od desky s ostatní elektronikou, je za účelem snížení počtu propojovacích vodičů řízen budičem TLC59025. Ovládání je realizováno skrze sběrnici SPI přes konektor SV2. Budič napájí segmenty LED displeje v režimu konstantního proudu. Proud je nastaven rezistorem R2 dle tabulky poskytované výrobcem budiče na 26mA. Rezistor R3 je pouze jako propojka na desce plošného spoje. Kondenzátor C10 slouží jako filtrace napájecího napětí.



Obr. 2. 8 Schéma obvodu LED displeje s budičem

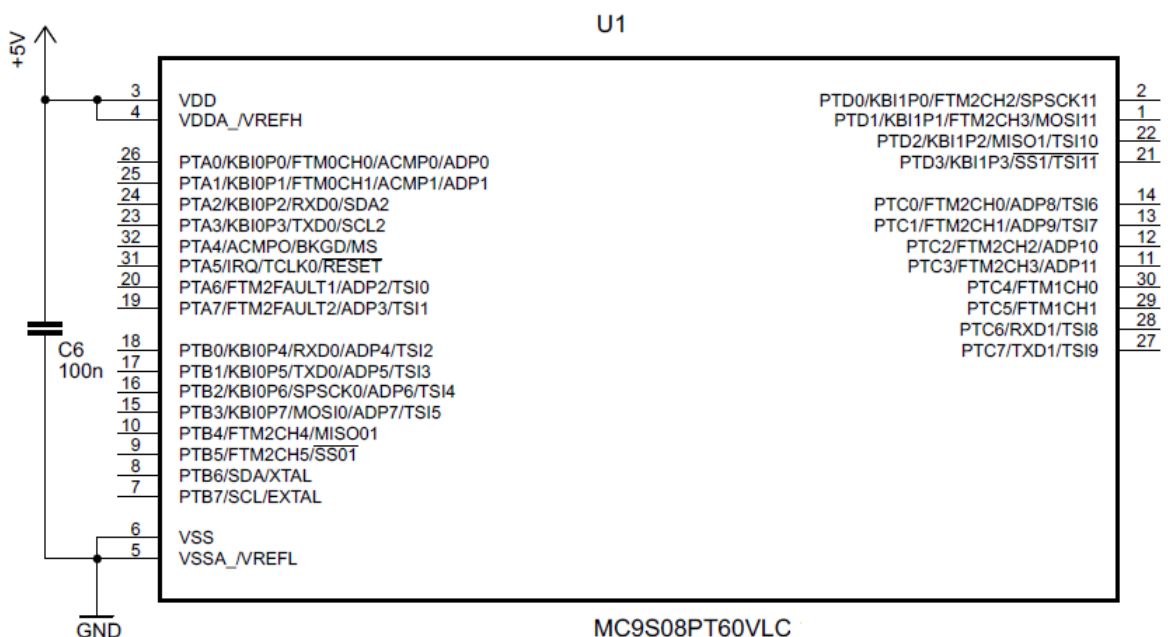
## 2.2.6 Mikrokontrolér

Výběr mikrokontroléru byl podřízen požadovaným vlastnostem a nutným periferiím.

Napájecí napětí 5V

- 2 časovače, z toho alespoň 1 s capture jednotkou
- Analogový komparátor s programově nastavitelným referenčním napětím
- Sériové rozhraní SPI
- 5 dostupných I/O portů
- Alespoň 1KB datové paměti RAM
- Alespoň 4KB programové paměti FLASH
- Alespoň 256B paměti EEPROM

Zvolen byl osmibitový Mikrokontrolér Freescale MC9S08PT60VLC, který za velice příznivou pořizovací cenu s velkou rezervou splňuje všechny požadované parametry. Mikrokontrolér je možné přímo nahradit mikrokontrolérem MC9S08PT32VLC nebo MC9S08PT16VLC. Jejich pouzdra i vývody jsou stejné. Liší se pouze ve velikosti programové paměti a dostačující je i nejlevnější verze s 16KB programové FLASH paměti. Změnu je potom nutné respektovat v použitém firmwáre.

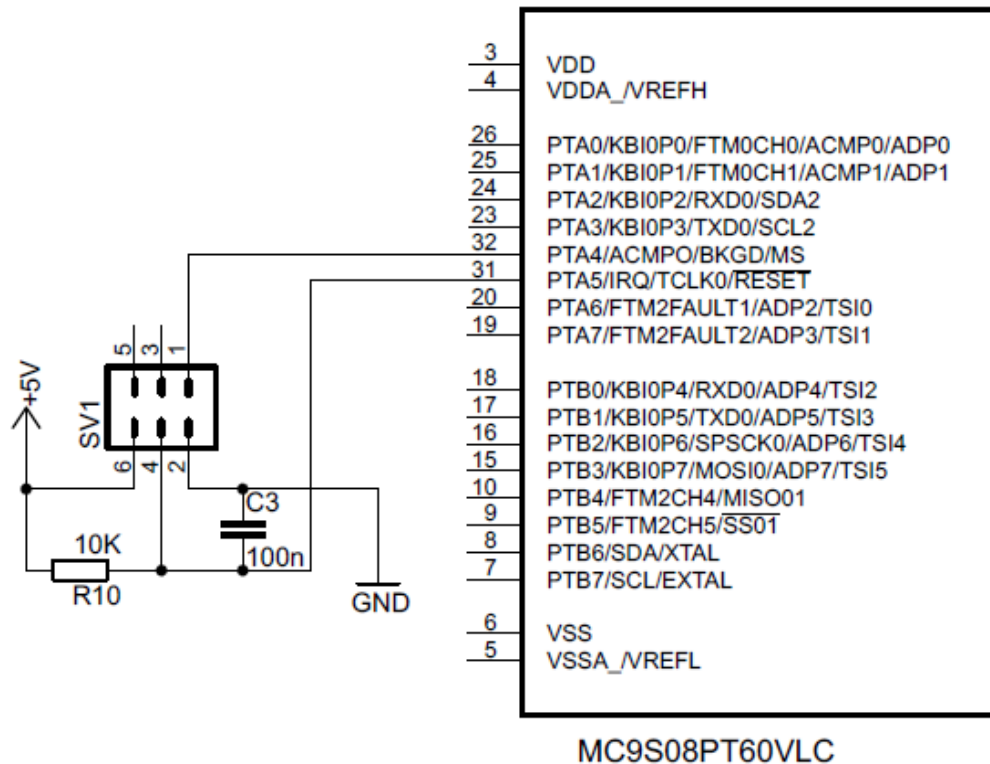


Obr. 2. 9 Schématické znázornění mikrokontroléru připojeného k napájení

Kondenzátor C6 v zapojení slouží jako filtrace napájecího napětí. V obvodu by správně měly být dva kondenzátory a oddělené napájení analogové části mikrokontroléru. Zařízení však nevyžaduje naprosto přesnou funkci analogových obvodů. Proto byla zvolena tato jednodušší varianta, která se po pokusech ukázala být spolehlivá.

## 2.2.7 Programovací rozhraní

Pro připojení k PC a debugging je využito rozhraní USBDM s jeho typickým zapojením vytvořené komunitou uživatelů Freescale. Pro propojení desky plošných spojů s programátorem USBDM byl použit 6-pinový header konektor, na *Obr. 2. 10* označený jako SV1.



*Obr. 2. 10* Zapojení konektoru pro programovací rozhraní USBDM

## 2.2.8 Kompletní schéma zapojení

Schéma zapojení je seskládáno z jednotlivých, výše popsaných bloků. Některé části se nevyhnuly drobným, většinou kosmetickým úpravám během navrhování desky plošných spojů. Tím je myšleno například prohození svítivé diody LED1 s rezistorem R12 (*Obr. 2. 7*), přidání některých nulových rezistorů kvůli překlenutí spojů na desce a některé další úpravy. Celé zapojení je přiložené v příloze A.

## 3 Realizace zařízení

### 3.1 Základní návrh umístění ukazatele na motocyklu

Indikátor zařazené rychlosti je konstruován jako univerzální doplněk, který je možno namontovat na většinu motocyklů. Tomu je podřízena celá jeho konstrukce. Rozdělen je do dvou plastových konstrukčních krabiček.

- V první malé krabičce, umístěné v pohledovém poli řidiče motocyklu, je umístěn plošný spoj s LED displejem a s budičem tohoto displeje. Krabička je pro lepší vzhled opatřena přístrojovým štítkem a nakonec zalitá epoxidovou pryskyřicí. Takto je zajištěno dostatečné krytí proti vodě. Schéma zapojení této krabičky je na *Obr. 2. 8* výše.
- Druhá rozebíratelná přístrojová krabička obsahuje zbytek elektroniky, pojistku, signalizační LED a tlačítko. Krabička je ve vodotěsném provedení.
- Spojení obou krabiček je realizováno pětižilovým, stíněným kabelem.

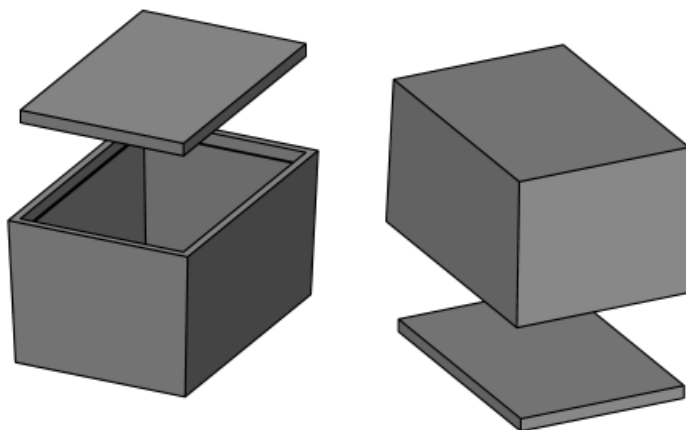
Prototyp použitý v této práci je kvůli lepší manipulovatelnosti sestaven na jedné desce plošného spoje. Obvody, které v hotovém zařízení budou odděleny, jsou na prototypové desce také odděleny. Pro jejich propojení jsou použity drátové propojky.

### 3.2 Výběr plastových krabiček pro umístění plošných spojů

Před návrhem desek plošných spojů je potřeba vybrat vhodné krabičky, pode kterých se řídí rozměry výsledných DPS.

#### 3.2.1 Krabička pro LED displej

Jako krabička pro LED displej byla vybrána krabička s označením Z-83 z katalogu internetového obchodu TME.eu. Má vhodné rozměry a působí esteticky.

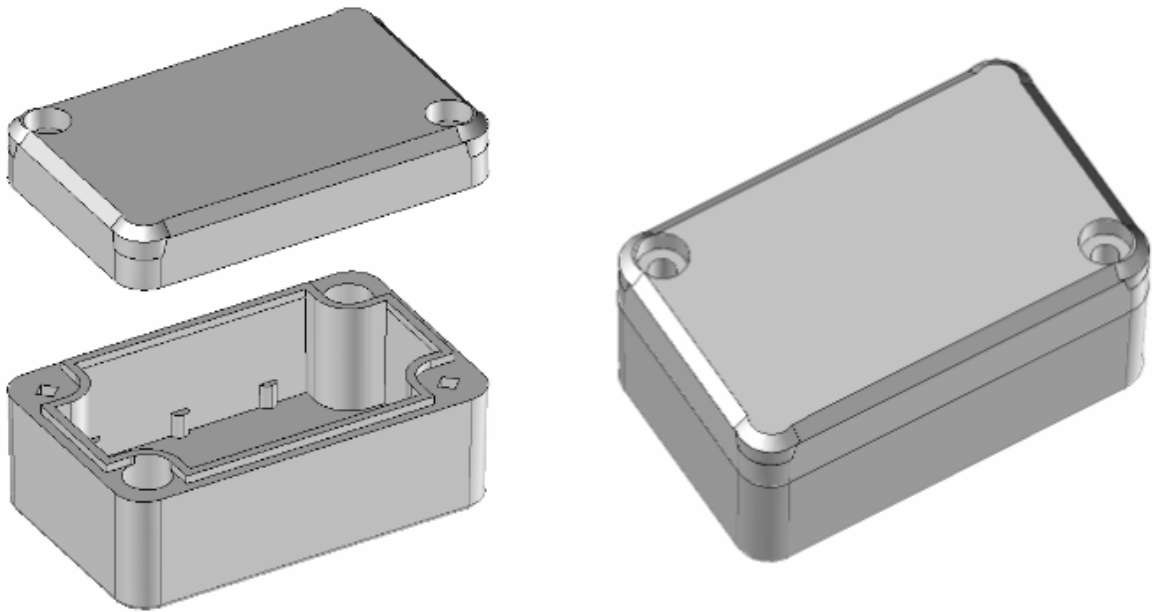


*Obr. 3. 1 Konstrukční krabička Z-83 [9]*



### 3.2.2 Krabička pro ostatní elektroniku

Pro tento účel byla zvolena krabička Z-65 s krytím IP67, rovněž z katalogu TME.eu

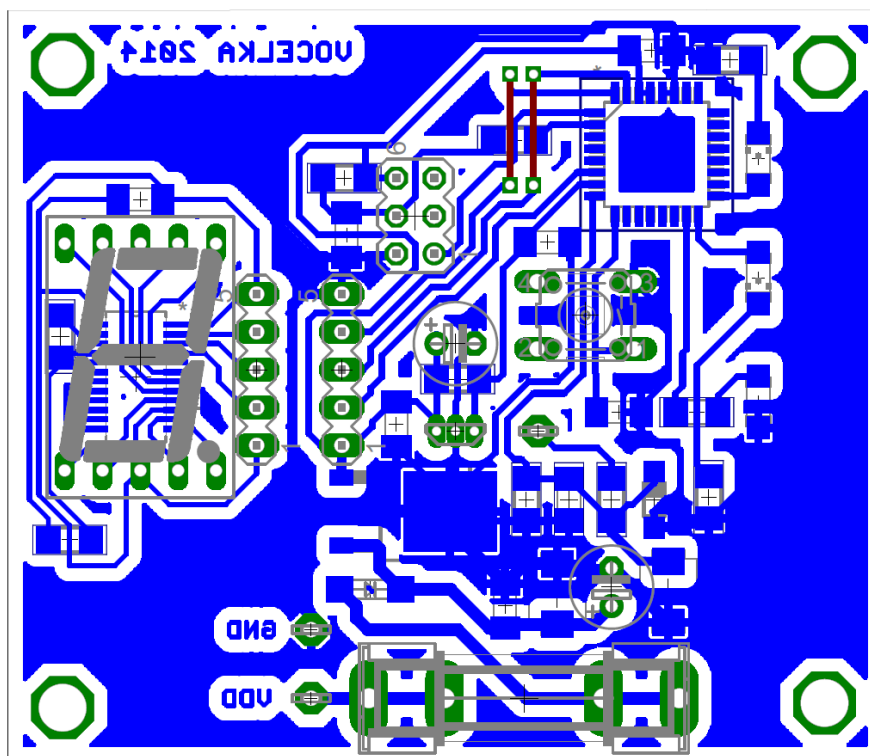


Obr. 3. 2 Konstrukční krabička Z-65 [8]

### 3.3 Návrh desek plošných spojů

Rozměry desek plošných spojů byly navrženy tak, aby přesně pasovaly do výše zmíněných konstrukčních krabiček. Jako návrhový software byl použit EAGLE od společnosti Cadsoft. Spoje na DPS byly navrženy pouze jednostranně kvůli levnější výrobě a snazšímu osazení. Součástky byly voleny kombinací variant SMD pro povrchovou montáž a THT s klasickými drátovými vývody.

Pro desky byl použit materiál FR4 a to zejména kvůli odolnosti proti vlhkosti s plátováním mědi o tloušťce 35 $\mu$ m.

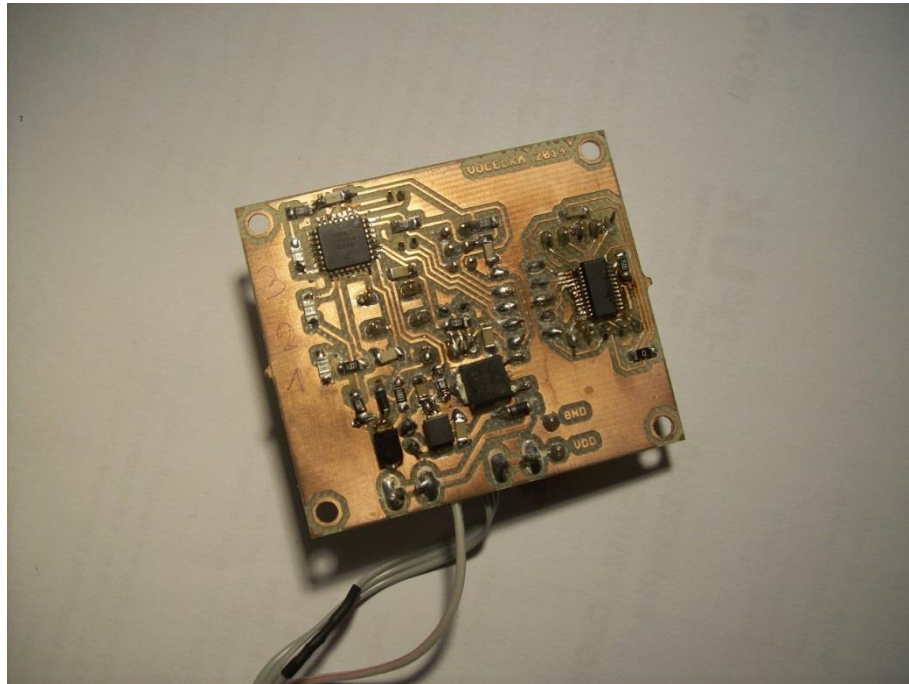


Obr. 3. 3 Navržená DPS

Deska na obrázku je prototyp, u kterého jsou obě DPS spojeny do jedné kvůli snadnější manipulaci při programování firmwaru a při pokusech na motocyklu.

### 3.4 Výroba a osazení plošných spojů

Výroba DPS probíhala na CNC fréze Katedry aplikované elektroniky a telekomunikací Západočeské univerzity. SMD součástky byly osazeny pomocí cínové pasty a zapájeny horkovzdušnou pájkou. THT součástky jsou pájeny klasickou cestou. Mikrokontrolér byl osazen až po kontrole funkčnosti napájecího obvodu a obvodu pro snímání otáčení motoru.



Obr. 3. 4 Osazená DPS – spodní strana



Obr. 3. 5 Osazená DPS – vrchní strana

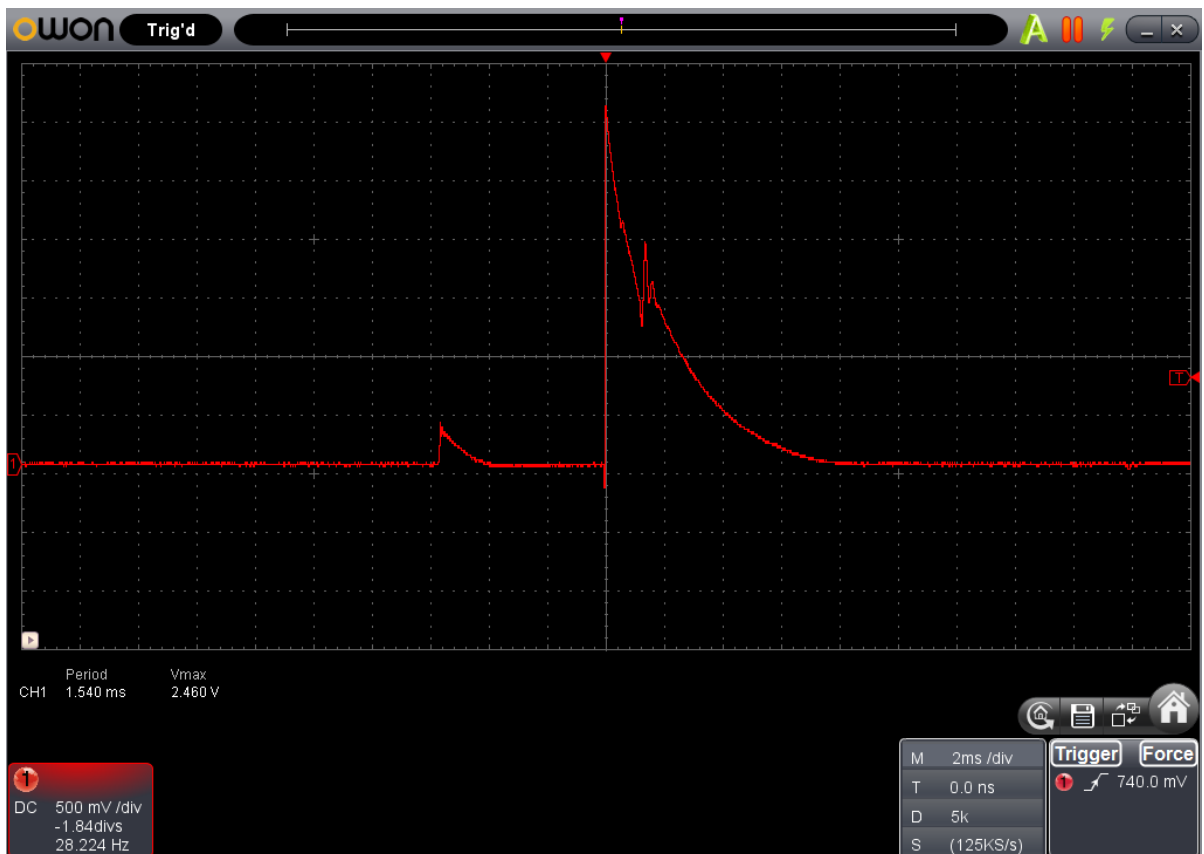
## 3.5 Oživení obvodu

### 3.5.1 Napájecí obvod

Napájecí obvod byl kontrolován pouze jednoduchým voltmetrem po připojení k palubní síti nastartovaného motocyklu a nevykazoval žádné problémy ani nestabilitu. Osciloskopem zkoumán nebyl.

### 3.5.2 Obvod pro snímání otáčení motoru

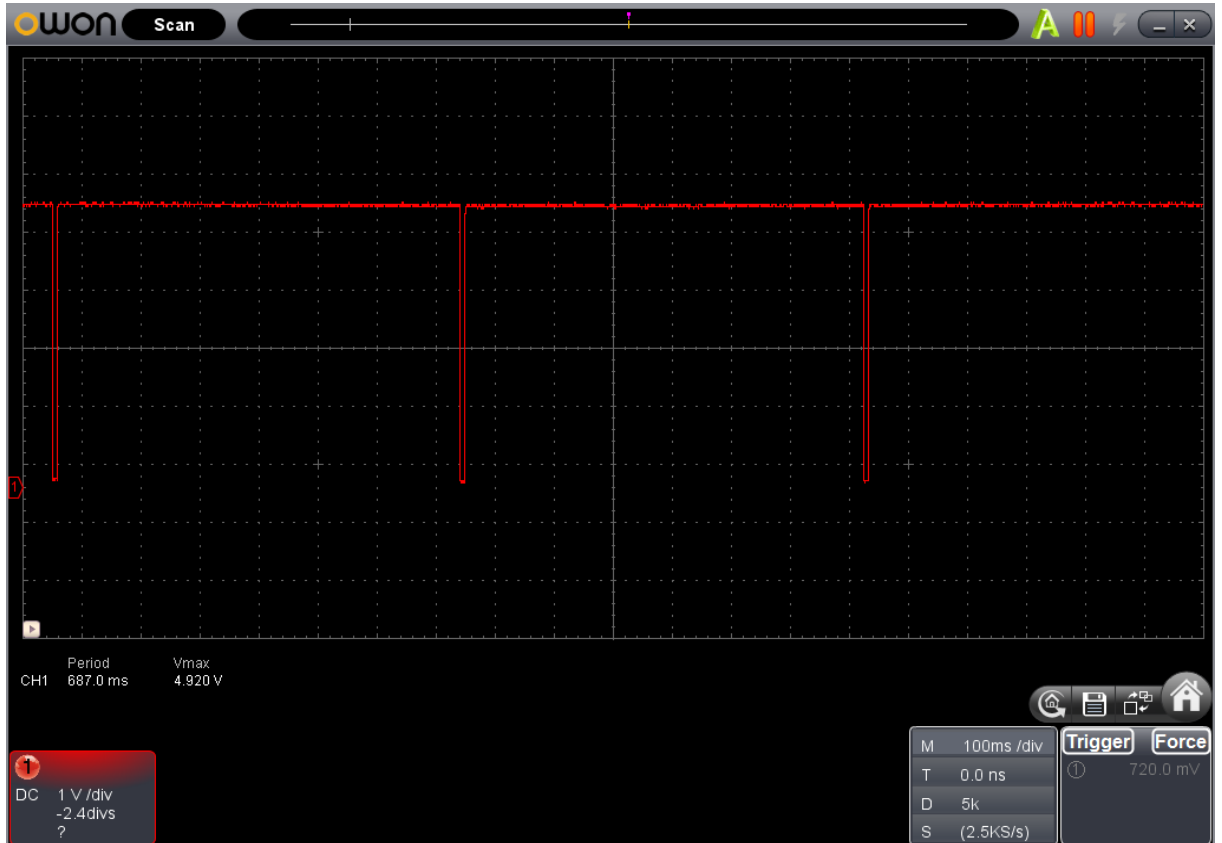
Obvod pro úpravu impulsů zapalovací soustavy vykazuje velmi slušnou funkčnost. S každým impulzem zapalovací soustavy přijdou na vstup MCU dvě napěťové špičky, z nichž jedna má amplitudu okolo 3,3V a druhá okolo 0,4V. Vyšší špička se zdá být vhodná pro překlopení komparátoru integrovaného v MCU.



Obr. 3. 6 Měření na výstupu obvodu pro snímání otáček motoru ze zapalovací soustavy

### 3.5.3 Obvod pro snímání otáček kola

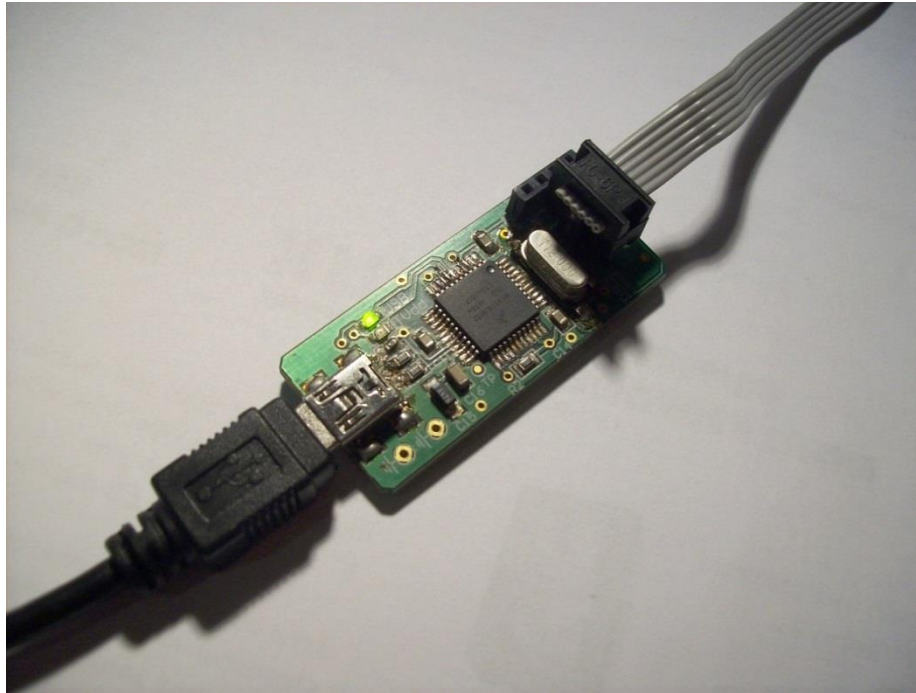
Naměřené chování obvodu odpovídá popisu chování Hallovy sondy v jejím datasheetu. Při přiblížení magnetu je napětí staženo na nulu. Po oddálení magnetu je napětí překlopeno na velikost napájecího napětí.



Obr. 3. 7 Měření na výstupu z Hallovy sondy

## 4 Návrh firmware

Indikátor zařazené rychlosti pracuje s mikrokontrolérem, který je pro jeho funkčnost nutné naprogramovat. K programování byl použit běžný PC s nainstalovaným vývojovým prostředím CodeWarrior, vyvinutým výrobcem mikrokontrolérů Freescale. K propojení desky indikátoru zařazené rychlosti s USB portem počítače posloužil programátor USBDM, vyvinutý uživateli mikrokontrolérů Freescale jako volně šiřitelná alternativa k originálním programátorům.

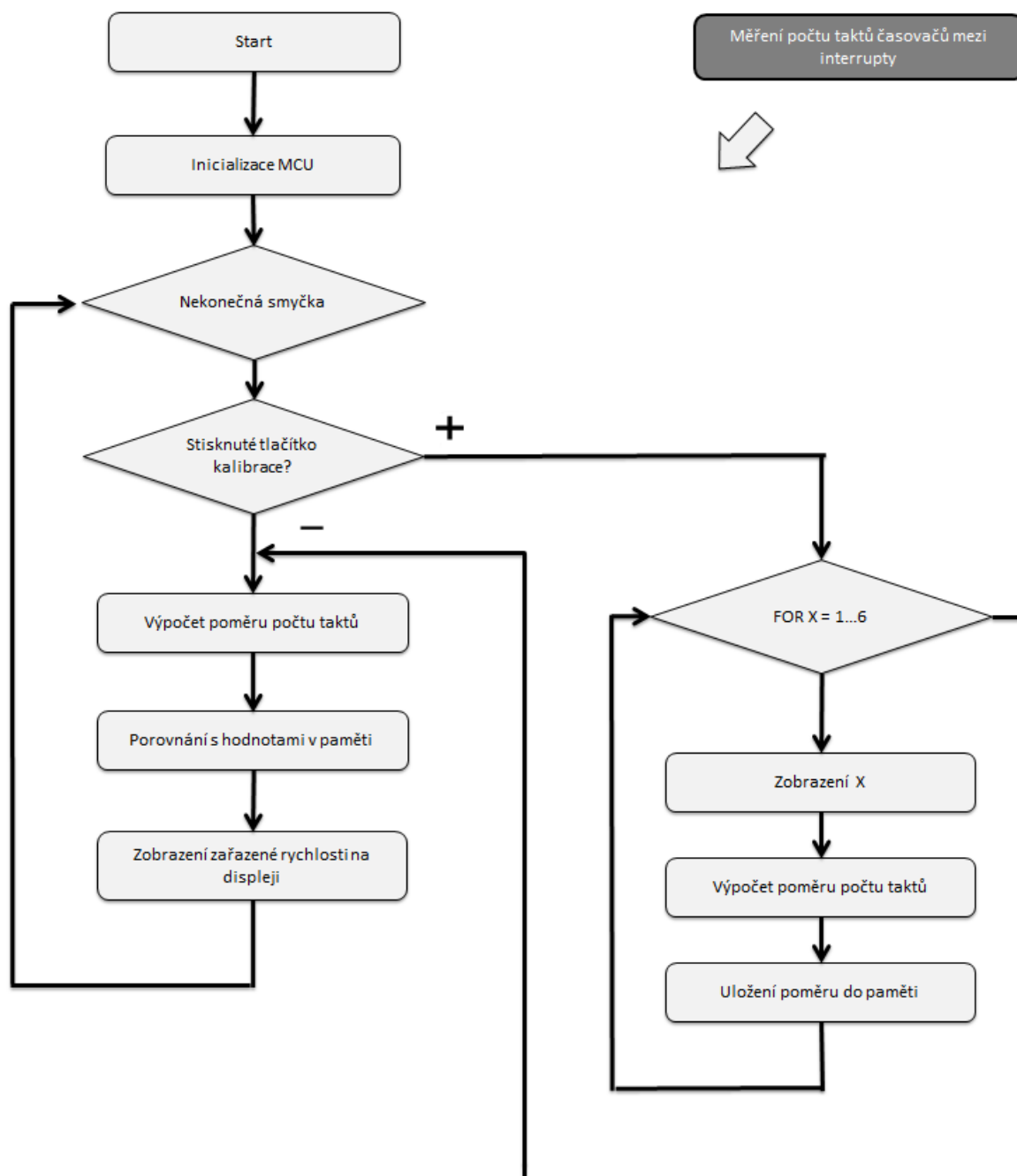


Obr. 4. 1 Programátor USBDM

### 4.1 Princip činnosti firmware

Příchozí impulz od Hallovy sondy snímající otočení kola motocyklu vyvolá přerušení programu. Stejně tak překlopení komparátoru signalizující otočení motoru. Mikrokontrolér pomocí čítačů v capture režimu měří doby mezi jednotlivými přerušeními. Porovnáním těchto dvou časů nebo lépe počtů taktů časovačů, je získána hodnota, která je pevná pro každý zařazený rychlostní stupeň. Vypočtený poměr je porovnán s hodnotami uloženými v paměti MCU a je vyhodnocen správný rychlostní stupeň, který je vzápětí zobrazen na displeji. Pokud není vypočtený poměr shodný s žádnou hodnotou uloženou v paměti, znamená to, že není k dispozici pevný převodový poměr a není tudíž zařazena žádná rychlost nebo je vystavena spojka. V tomto případě je zobrazena pomlčka. Kalibrace se aktivuje přidržetím tlačítka. Poté je uživatel vyzíván k postupnému zařazení všech rychlostních stupňů. S postupným

přeřazováním jsou měřeny poměry dob otočení kola a motoru pro každý z rychlostních stupňů. Tyto poměry jsou následně uloženy do EEPROM paměti mikrokontroléru.



Obr. 4. 2 Zjednodušený diagram běhu programu

## 4.2 Detailnější popis jednotlivých částí programu

Základní myšlenka běhu programu, jak je vidět na Obr. 4. 1 je hodně zjednodušená. Ve skutečnosti je program o mnoho složitější. Obsahuje například sekvenci pro uvítání uživatele, algoritmy pro bliknutí LED na plošném spoji při přijetí impulzu od motoru nebo od Hallovy sondy a pracuje s dalšími časovači a přerušeními. Jeden časovač například obstarává

blikání tečky na displeji v průběhu kalibrace, další je použit k tomu, aby se kalibrační sekvence spustila až po delším přidržení tlačítka. Dalším zesložitěním programu jsou algoritmy zpřesňující zobrazování. Bez nich zobrazovaný údaj přeskakuje a ve většině času není uživatel schopen určit, jaká rychlost je právě zařazena. Jsou tedy pro funkčnost velmi důležité.

#### **4.2.1 Měření času mezi přerušeními vyvolanými otočením motoru**

K samotnému zaznamenání impulsu od zapalovací soustavy motocyklu je využit analogový komparátor, který je osazen v MCU jako pevná periferie. Tyto impulzy jsou přivedeny na kladný vstup komparátoru. Na negativní vstup je interně v MCU přiveden výstup z D/A převodníku s napětím nastaveným na 1,56V. Tato hodnota byla určena na základě měření obvodu pro snímání impulsů zapalovací soustavy, který je zobrazen na *Obr. 3. 4.* Po každém přijatém impulsu vyvolá komparátor přerušení. Během obslužného programu přerušení je přečten záchytný registr čítače FTM2 a následně je vynulován pro další měření. Poté následuje zakázání přerušení komparátoru na 2ms. Důvodem je nestabilita způsobená zámkem zapalovací soustavy, která je vidět na sestupné straně většího pulzu na *Obr. 3. 4.* Po 2ms je maska přerušení komparátoru opět zrušena a komparátor připraven na vyvolání dalšího přerušení. Tímto je omezen rozsah otáček motoru motocyklu, při kterých je indikátor schopen zobrazovat zařazenou rychlost na maximální teoretickou hodnotu 30000 otáček za minutu. Také při každém přerušení vyvolaném analogovým komparátorem dojde k překlopení jedné ze signalizačních LED. Důvodem je kontrola činnosti při montáži indikátoru.

#### **4.2.2 Měření času mezi přerušeními vyvolanými otočením kola motocyklu**

Tuto úlohu obstarává capture jednotka časovače FTM0. S každým přijetím impulsu od Hallovy sondy zachycující otáčení kola motocyklu je vyvoláno přerušení. V obslužném podprogramu je přečten a uložen obsah záchytného registru. Ten je dále odečten od hodnoty z minulého přerušení. Aby při přetečení volně běžícího časovače nebyly hodnoty spočítány chybně, je využito faktu, že při nastavení modulu čítače na hodnotu  $2^N$  je v případě záporného výsledku při odečítání v binární podobě číslo stejné, jako kdyby čítač nepřetekl. Nedojde-li tedy během jednoho měření ke dvěma přetečením čítače, není nutné si přetečení všimnout a rozdíl 2 naměřených hodnot je vždy správný, kladný.



### **4.2.3 Komunikace s LED displejem**

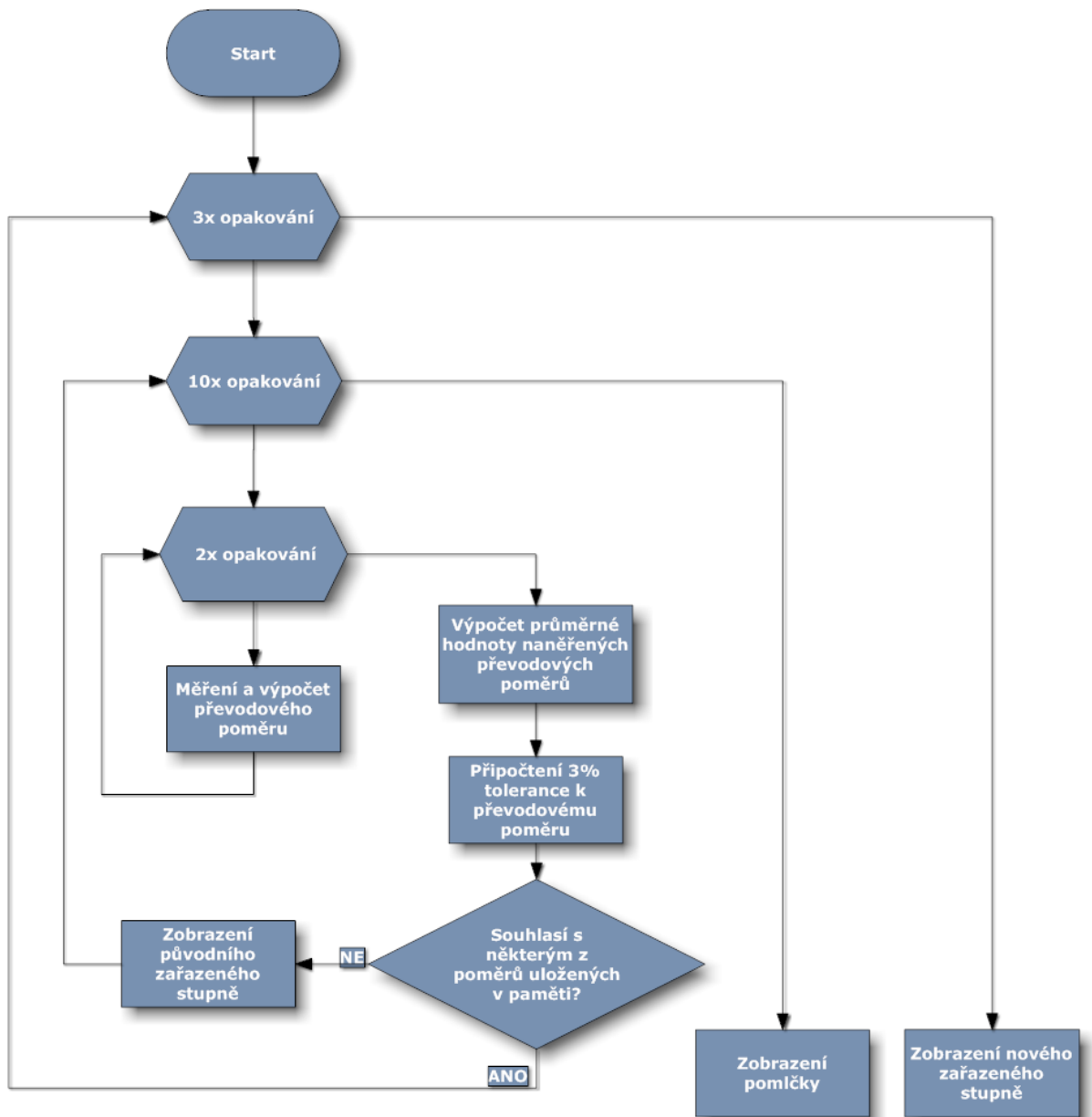
Displej, respektive jeho budič, je řízen mikrokontrolérem přes sběrnici SPI. Doba odesílání jednoho bitu je nastavena na 1 $\mu$ s. Na prototypové desce, kde není dlouhý vodič propojující DPS s displejem a DPS s ostatní elektronikou komunikující právě přes SPI, funguje časování dobře. Je možné, že při oddělení obou desek začne být vlivem rušení toto časování nevhodné a bude nutné nastavit rychlost nižší.

### **4.2.4 Zápis a čtení EEPROM**

Poměry z obou čítačů jsou uloženy v paměti EEPROM. Pro zápis a čtení jsou využity knihovní funkce nainstalované společně s vývojovým prostředím CodeWarrior. V použitém mikrokontroléru začíná EEPROM adresou 0x3100. Na tuto adresu se zapisuje poměr pro 1. rychlostní stupeň. Čísla jsou ve formátu unsigned integer, zabírající 4 byty paměti. Paměť je rozdělena v blocích po 2 bytech, takže každá hodnota zabírá 2 tyto bloky. Adresy poměrů dalších zařazených rychlostních stupňů jsou tedy ob jednu adresu. To znamená, že poměr druhého rychlostního stupně má adresu 0x3102 atd. Před zápisem i čtením paměti se vždy kontroluje, zda není paměť zaneprázdněná. Pokud je, program čeká, dokud tento stav neodezní.

#### 4.2.5 Pomocné algoritmy ke zlepšení přesnosti a stability měření

Jak bylo zmíněno v úvodu kapitoly, program pro správnou funkci vyžaduje některé algoritmy, které napomáhají přesnosti a stabilitě určování zařazené rychlosti. Jak tyto algoritmy pracují, je znázorněno na *Obr. 4. 3*. Program nejprve změří dvakrát převodový poměr, což je poměr mezi dobou otočení kola a motoru a z těchto dvou měření určí průměrnou hodnotu. Následuje porovnání s uloženými hodnotami v paměti při respektování 3% tolerance. Pro zobrazení nové zařazené rychlosti je třeba naměřit stejný poměr 3x za sebou. Jinak zůstane zobrazena původní rychlost. Pokud zařízení naměří 10x za sebou poměr, který neodpovídá žádnému poměru uloženému v paměti, je zobrazena pomlčka.

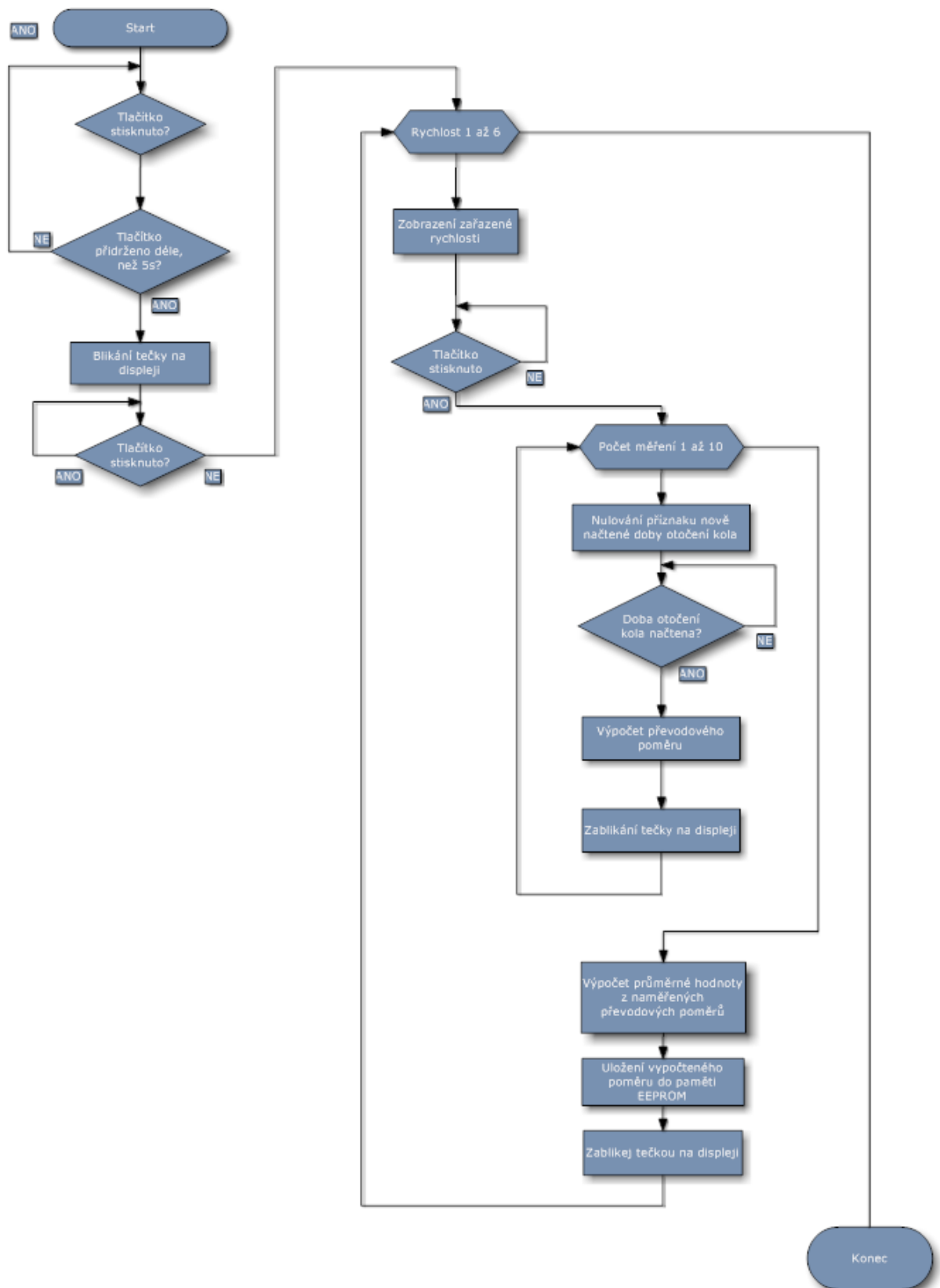


Obr. 4. 3 Vývojový diagram algoritmů pro zvýšení stability měření

#### 4.2.6 Kalibrace

Jelikož každý motocykl má převody nastaveny jinak, je nutné uložit do paměti indikátoru hodnoty převodových poměrů pro každý konkrétní motocykl zvlášť. Bez kalibrace by indikátor nebyl schopen fungovat. Znovu je také nutné indikátor zkalibrovat při každém zásahu do převodového poměru motocyklu. Například při výměně ozubených kol sekundárního převodu za kola s jiným počtem zubů.

Do režimu kalibrace se indikátor uvede přidržetím tlačítka na plošném spoji. Poté se rozblíká tečka na displeji jako indikace, že aktivován kalibrační algoritmus. Po uvolnění tlačítka je na displeji zobrazena „1“. Uživatel motocyklu zařadí první rychlostní stupeň a stiskne znovu tlačítko. Následuje deset opakování měření převodového poměru způsobem popsaným v kapitolách 4.2.1 a 4.2.2. Z naměřených hodnot je za účelem zpřesnění měření vypočtena průměrná hodnota a uložena do paměti EEPROM. Uživatel je vyzván k zařazení druhého rychlostního stupně a potvrzení zařazení tlačítkem. Měřicí sekvence se poté opakuje. Takto se postupuje až do zařazení šestého rychlostního stupně. Pokud je motocykl vybaven pouze pětistupňovou převodovkou, provede se kalibrace šestého rychlostního stupně se zařazeným pátým stupněm. Program je nastaven tak, aby při dvou stejných převodových poměrech uložených v paměti bral v potaz pouze ten pro nižší zařazenou rychlost. Zjednodušeně řečeno, pokud jsou pro pátý a šestý rychlostní stupeň v paměti stejné převodové poměry, šestý stupeň se nezobrazí. Zjednodušený vývojový diagram kalibračního algoritmu je zobrazen na *Obr. 4. 4* níže.



Obr. 4. 4 Vývojový diagram kalibračního algoritmu

## Závěr

V první části práce byly analyzovány možnosti snímání zařazeného rychlostního stupně. Bylo popsáno několik jednodušších a složitějších způsobů. Každý způsob má nějaké klady a zápory, které jsou přehledně zobrazeny v *Tab. 1. 1*. Pro vyvíjené zařízení jsem vybral způsob popsáný v kapitole 1.3, který měří a porovnává doby otočení motoru a kol motocyklu, jelikož jde o nejuniverzálnější řešení.

Elektronický obvod s řídicím MCU od firmy Freescale byl sestaven z částí popsáných v kapitole 2 a byl koncipován jako co nejjednodušší, s co nejmenším počtem součástek, z nichž je většina v miniaturním SMD provedení z důvodu co nejmenších rozměrů výsledné DPS.

V kapitole 3 je nastíněn postup výroby indikátoru zařazené rychlosti. Ačkoli je zařízení koncipováno jako dvě oddělené jednotky, prototyp, jak je vidět na *Obr. 3. 4* a *Obr. 3. 5* byl vyroben jako jedna DPS bez krytu, což bylo v průběhu vývoje firmware výhodnější pro manipulaci při častém přemísťování zařízení mezi laboratoří a garáží s motocyklem.

Jedinou větší nevýhodou zvoleného principu funkce indikátor je poměrně složitý firmware, jehož popisem se zabývá kapitola 4, který byl i přes svou vyšší složitost dotáhnut k bezproblémové funkčnosti. Za složitost mohou hlavně algoritmy pro zpřesnění zobrazování, jejichž nutnost se projevila až v průběhu testování firmware. Tyto algoritmy jsou vysvětleny v kapitole 4.2.5.

Zařízení by po usazení do krabiček, jak je navrženo v kapitole 3.2, bylo díky velmi dobré spolehlivosti určování zařazené rychlosti a nízkým výrobním nákladům vycházejícím z jednoduchosti zapojení, bez problémů schopné konkurovat podobným, komerčně vyráběným výrobkům.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-7300-110-1.
- [2] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *MC9S08PT60 Reference Manual: MC9S08PT60RM* [online]. 2014 [cit. 2015-06-02]. Dostupné z:  
[http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref\\_manual/MC9S08PT60RM.pdf](http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/MC9S08PT60RM.pdf)
- [3] TEXAS INSTRUMENTS. *TLC59025: LOW-POWER 16-CHANNEL CONSTANT-CURRENT LED SINK DRIVER* [online]. 2009 [cit. 2015-06-02]. Dostupné z:  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc59025.pdf>
- [4] INFINEON TECHNOLOGIES. *Uni- and Bipolar Hall IC Switches for Magnetic Field Applications: TLE4905L, TLE4935L, TLE4945L, TLE4945-2L* [online]. 2007. Dostupné z:  
<http://www.tme.eu/cz/Document/006668ba6d95b6d8e9f1c9e3ab979b30/TLE49x5L.PDF>
- [5] *Pístové stroje: Učíme v prostoru* [online]. 2015 [cit. 2015-06-02]. Dostupné z:  
[http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=2267](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2267)
- [6] KERNIGHAN, Brian. *Programovací jazyk C*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006, 286 s. ISBN 802510897x.
- [7] ŠTĚRBA, Pavel. *Elektronika a elektrotechnika motorových vozidel: seřizování, diagnostika závad a chybové kódy OBD*. 1. vyd. Brno: CPress, 2013, 191 s. ISBN 978-80-264-0271-8.
- [8] *Konstrukční krabička Z-81: Výkresová dokumentace*. 2014. Dostupné také z:  
<http://www.tme.eu/cz/Document/091305d73fac423e3ff0c4e7cb37ade4/Z-83.pdf>
- [9] *Konstrukční krabička Z-65: Výkresová dokumentace*. 2014. Dostupné také z:  
<http://www.tme.eu/cz/Document/d423788147b9589e18074bb45521bb5f/Z-65.pdf>

## **Přílohy**

Přílohy v tištěné podobě

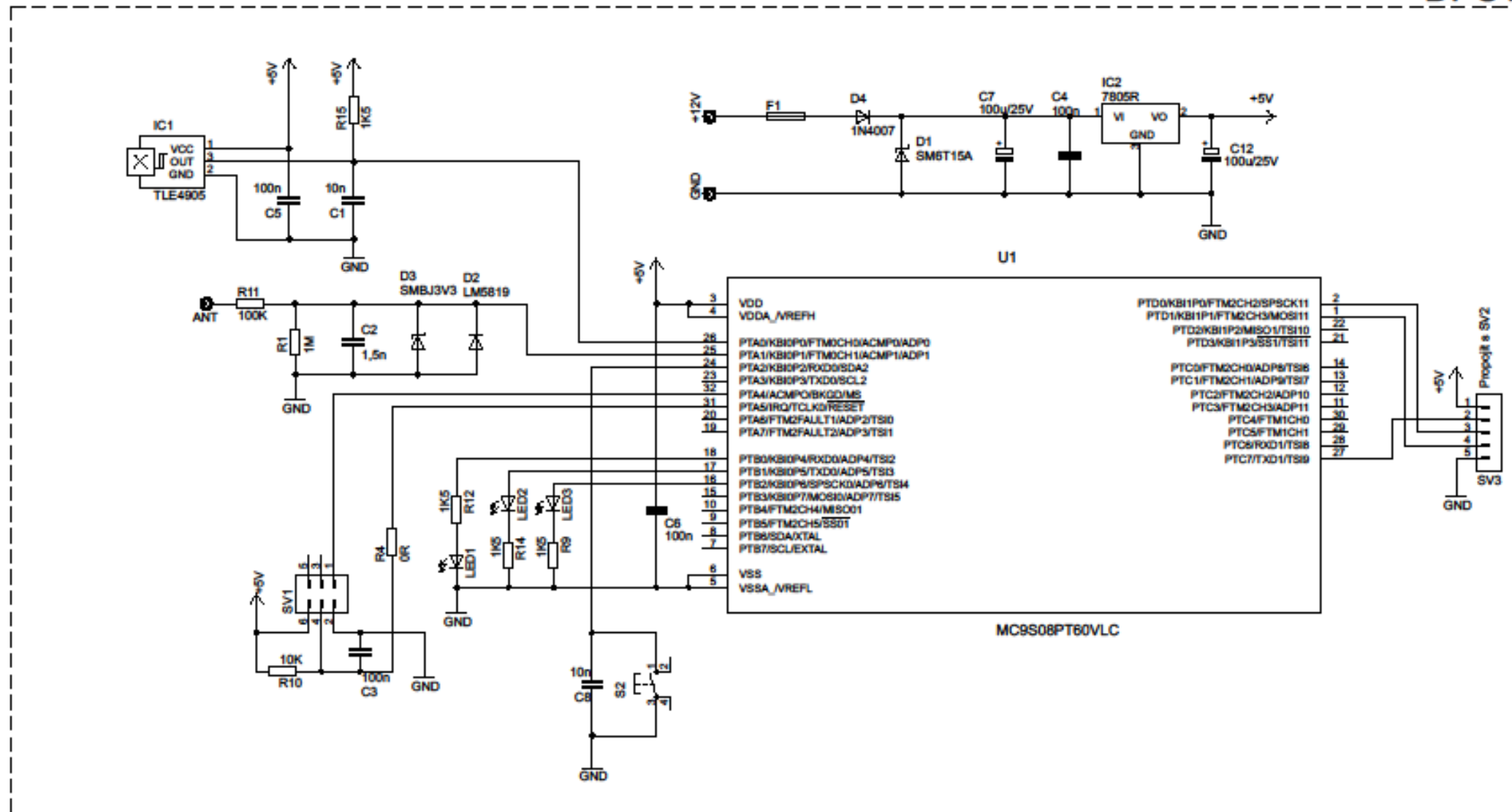
A) Celé schéma zapojení

Přílohy v elektronické podobě na přiloženém CD

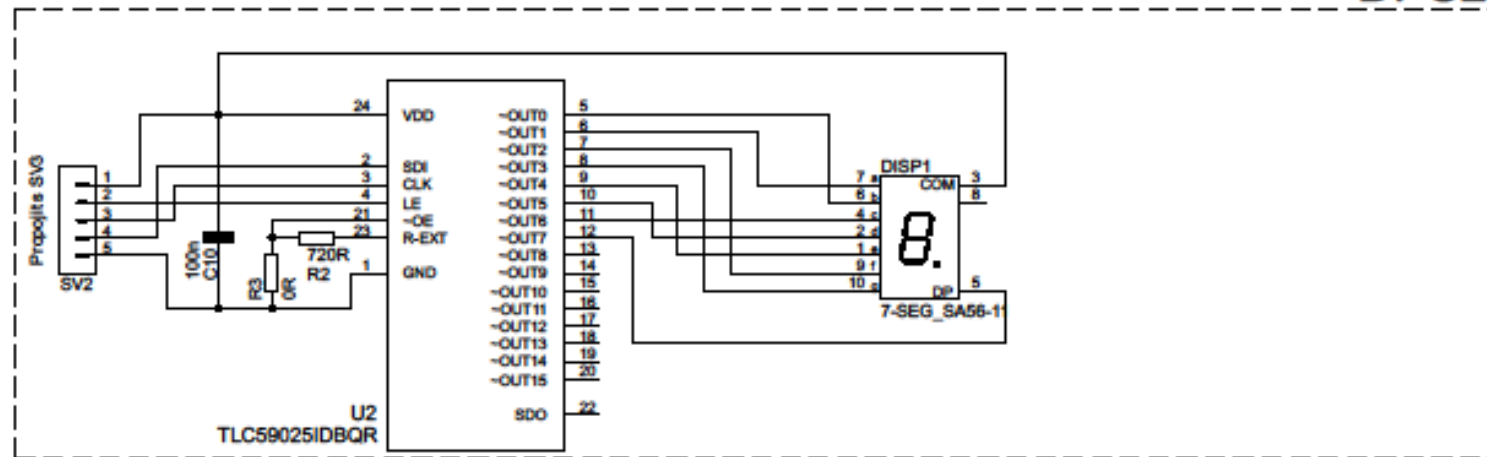
B) Firmware pro mikrokontrolér

# PŘÍLOHA A

# DPS1



# DPS2



JAKUB VOCELKA  
Indikator zarazene  
rychlosti na motocykl  
29.5.2015 15:21:05  
Sheet: 1/1