

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. David Jaroš

Bytem:

Narozen/a (datum a místo): 18.3.1984, Havlíčkův Brod

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

Ing. Edita Hejátková

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Palubní počítač pro vyhodnocení stavu a funkčních parametrů spalovacích motorů

Vedoucí/školicitel VŠKP: Ing. Radek Kuchta, Ph.D.

Ústav: Ústav mikroelektroniky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě - počet exemplářů 1
- elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Abstrakt:

Předkládaná práce se zabývá návrhem a realizací palubního počítače pro vyhodnocování stavu a funkčních parametrů spalovacího motoru. Navrhované řešení se skládá ze dvou hlavních částí. První část je měřicí jednotka, která získává aktuální informace o motoru, jako je spotřeba paliva, otáčky motoru a teplota hlavy motoru. Druhá část řešení je tvořena kapesním počítačem s odpovídajícím softwarem. Aplikace v kapesním počítači zpracovává data získaná z měřicí jednotky a z přijímače GPS, který je integrován v kapesním počítači. Pro přenos dat mezi měřicí jednotkou a kapesním počítačem je využito bezdrátové bluetooth technologie. Aplikace v kapesním počítači zobrazuje a zaznamenává všechna získaná a vypočtená data.

Abstract:

This thesis deals with design and realization of the onboard computer for evaluating functional parameters and status of the gas engine. Designed solution is consisted of two main parts. The first part is measuring unit whose obtains actual information on engine especially consumption of fuel, rotate per minutes and temperature of engine head. The second part of the solution is formed by pocket computer with appropriate software. The application for the pocket computer processes data from the measuring unit and from GPS receiver whose is integrated in pocket computer. Wireless bluetooth technology is used for data transfer between measuring unit and pocket computer. The application in pocket computer displays and records each of obtained and computed data.

Klíčová slova:

Palubní počítač, GPS, C#, C, bluetooth, spalovací motor, kapesní počítač, termoelektrický článek

Keywords:

Onboard compter, GPS, C#, C, bluetooth, internal-combustion engine, pocket computer, thermocouple.

Bibliografická citace díla:

JAROŠ, D. Palubní počítač pro vyhodnocení stavu a funkčních parametrů spalovacích motorů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 47 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radek Kuchta, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 26. 5. 2008

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Kuchtovi, Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na diplomovou práci.

Obsah

1	ÚVOD	5
2	ŘEŠENÁ PROBLEMATIKA	6
3	TEORETICKÝ ROZBOR	7
3.1	OTÁČKY MOTORU	7
3.2	SPOTŘEBA PALIVA	8
3.3	TEPLOTA VZDUCHU [6]	9
3.4	TEPLOTA MOTORU [5]	12
3.5	KOMUNIKACE	14
3.5.1	<i>TWI [2]</i>	14
3.5.2	<i>Protokol</i>	14
3.5.3	<i>UART [12]</i>	16
3.5.4	<i>Bluetooth [9]</i>	17
3.6	GPS	21
3.6.1	<i>NMEA data</i>	21
3.6.2	<i>Vzdálenosti dvou pozic na zemském povrchu [11]</i>	22
4	ŘEŠENÍ	24
4.1	KONCEPCE	24
4.2	FUNKCE PALUBNÍHO POČÍTAČE	25
5	OBVODOVÉ ŘEŠENÍ	26
5.1	OTÁČKY MOTORU	26
5.1.1	<i>Obvod pro úpravu měřeného signálu</i>	26
5.1.2	<i>Digitální zpracování</i>	27
5.2	PRŮTOKOMĚR	29
5.2.1	<i>Digitální zpracování</i>	30
5.2.2	<i>Teplota motoru</i>	31
5.3	TEPLOTA VZDUCHU	32
5.4	BLUETOOTH	32
5.5	. DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ	32
5.6	CELKOVÉ ZAPOJENÍ MĚŘICÍ JEDNOTKY	34
6	PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ	35
6.1	PROGRAM MIKROKONTROLÉRU [4]	35
6.1.1	<i>Funkce main</i>	35
6.1.2	<i>Komunikační protokol</i>	36
6.1.3	<i>Průtok paliva</i>	37
6.1.4	<i>Otáčky motoru</i>	38
6.1.5	<i>Teplota motoru [5]</i>	39
6.1.6	<i>Teplota vzduchu</i>	40
6.2	APLIKACE PRO KAPESNÍ POČÍTAČ [1]	40
6.2.1	<i>Základní běh aplikace</i>	40
6.2.2	<i>Zpracování dat</i>	42

6.2.3	Ovládání aplikace	42
7	PŘESNOST MĚŘENÍ	44
8	ZÁVĚR	46
9	POUŽITÁ LITERATURA	47

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Měření frekvence signálu	8
Obr. 2: Spotřeba paliva	9
Obr. 3: Blokové schéma LM75.....	10
Obr. 4: Struktura registrů v LM75	12
Obr. 5: Obecné uspořádání sběrnice TWI.....	14
Obr. 6: Podmínka stability log úrovně pulsu v průběhu SCL pulsu	15
Obr. 7: Příklad datového přenosu po sběrnici TWI	15
Obr. 8: Adresový bajt sběrnice TWI.....	16
Obr. 9: datový rámec UART.....	16
Obr. 10: Zapojení bluetooth modulu BTMODUL106.....	20
Obr. 11: Blokový diagram obvodu BGB203	20
Obr. 12: Blokový diagram řešení.....	24
Obr. 13: Realizovaná měřicí jednotka.....	25
Obr. 14: Obvod pro úpravu signálu pro měření otáček motoru	26
Obr. 15: Simulace činnosti obvodu pro úpravu signálu pro měření otáček.....	27
Obr. 16: Funkční závislost hodnoty čítače na otáčkách motoru	28
Obr. 17: Obvod pro úpravu pulsů průtokoměru.....	29
Obr. 18: Signál průtokoměru určený po korekci.....	30
Obr. 19: Funkční závislost hodnoty čítače na rychlosti průtoku paliva.....	31
Obr. 20: Zapojení korekčního zesilovače termočláčku	31
Obr. 21: Rozložení funkčních bloků na DPS	33
Obr. 22: Osazená DPS měřicí jednotky	33
Obr. 23: Celkové zapojení měřicí jednotky	34
Obr. 24: Vývojový diagram funkce <i>main</i>	36
Obr. 25: Datový rámec odesílaný měřicí jednotkou	36
Obr. 26: Vývojový diagram základní činnosti aplikace.....	41

Obr. 27: Hlavní formulář aplikace	42
Obr. 28: Formulář pro záznam údajů	42
Obr. 29: Histogram měření nadmořské výšky přijímačem GPS.....	45

1 Úvod

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a realizovat palubního počítače pro vyhodnocování stavu a funkčních parametrů spalovacího motoru. Jsou zde popsány všechny dílčí činnosti, které byly v průběhu řešení provedeny a to od návrhu, přes konstrukci až po část, která se zabývá vývojem programového vybavení.

Cílem bylo navrhnout kompaktní zařízení, které bude nedílnou součástí spalovacího motoru. Důraz byl kladen na maximální jednoduchost zařízení. S jednoduchostí řešení také souvisí cenová dostupnost. Protože má být dané zařízení součástí elektroinstalace spalovacího motoru musí být provedení dostatečně mechanicky odolné. Zařízení by mělo umožnit jednoduše instalovat k dané pohonné jednotce. Řešení si neklade za cíl extrémní přesnost stanovovaných parametrů, údaje mají mít spíše informativní charakter tak, aby měl uživatel přehled o činnosti a aktuálním stavu pohonné jednotky. Údaje by měly být jednoduše a přehledně zobrazovány. Zařízení by mělo být schopno veškeré zobrazované údaje zaznamenávat pro jejich pozdější analýzu a zpracování.

Uvedené řešení je navrženo tak, aby výsledné zařízení bylo vhodné k využití u pohonných jednotek, které jsou využívány v motorovém paraglidingu.

Tuto práci lze rozdělit na tři hlavní části. V první části je přiblížen současný stav v oblasti palubních počítačů, které jsou určeny pro dvoutaktní spalovací motory. Potřebnou formou je zde uveden teoretický rozbor prostředků, kterých je využito pro komunikaci jednotlivých funkčních bloků s řídicí částí zařízení.

Druhá část práce dokumentuje obvodové řešení měřicího ústrojí. Jsou zde uvedeny fyzikální principy, kterých je využito k měření funkčních parametrů. Dále jsou zde popsány způsoby využití pro úpravu a zpracování signálů, z kterých jsou funkční parametry stanovovány.

Další kapitolu tvoří popis programového vybavení. V první části této kapitoly je uveden rozbor programu, který řídí činnost měřicí jednotky. Následuje popis aplikace vytvořené pro kapesní počítač, která údaje získané měřicí jednotkou zobrazuje a zaznamenává.

V závěru je uvedeno do jaké míry se podařilo cíle tohoto projektu splnit. Je zde nastíněn další možný vývoj navrženého zařízení. Dále závěrečná část práce rekapituluje dosažené výsledky a uvádí stručné porovnání navrženého zařízení s komerčně prodávanými zařízeními podobného typu.

2 Řešená problematika

Jak již bylo v úvodu napsáno, cílem této práce bylo vyvinout monitorovací palubní počítač pro spalovací motory, kterých je využíváno jako pohonných jednotek v motorovém paraglidingu. Tuto kategorii tvoří zpravidla motory o výkonu do 30 kW. Jedná se z větší části o dvoutaktní vzduchem chlazené motory bez převodové skříně. Typickým příkladem takové pohonné jednotky může být SOLO 210 nebo výkonnější SIMONINI mini 2 PLUS.

K pohonným jednotkám tohoto typu nejsou běžně palubní počítače k dispozici. Na trhu se můžeme setkat se zařízeními, které řeší dílčí funkce, jako jsou otáčkoměry nebo zařízení pro měření teploty motoru.

Konstruované zařízení by mělo sloužit pilotovi motorového kluzáku a informovat ho o průběhu letu. Mělo by tak v sobě spojovat aktuální informace o pohonné jednotce získané měřicí jednotkou a informace získané ze systému GPS.

Pro bezmotorový paragliding je na trhu k dispozici spousta přístrojů, jejichž cena se pohybuje od 5 000 Kč, pro variometry, až do 30 000 Kč, pro sdružené přístroje variometr s přijímačem GPS.

Pro motorový paragliding má však pilot značně odlišné potřeby a požadavky. Kupříkladu je zde nadbytečný akustický výstup variometru (zařízení generuje tón, jehož frekvence je úměrná hodnotě vertikální složky rychlosti pohybu). Žádoucí jsou naopak funkce, které jsou spojeny s činností motoru. U dvoutaktního motoru mezi tyto funkce řadíme především měření otáček, měření teploty hlavy motoru a jako přídavná a užitečná funkce je měření spotřeby paliva.

V současné době není na českém ani zahraničním trhu zařízení, které by umožňovalo měřit funkční parametry spalovacího motoru s využitím pro motorový paragliding běžně k dostání. Jednu ze dvou výjimek je zařízení společnosti Nirvana SYSTEMS s.r.o., jde však pouze o měřicí stolicí, která slouží k diagnostickým účelům a toto zařízení není volně v prodeji. Jako druhou výjimku je možné uvést přístroj MACHCOMP, který měří pouze spotřebu paliva a otáčky motoru. Přístroj se stejnými funkcemi, jako je navrhované zařízení, tak skutečně na trhu chybí.

3 Teoretický rozbor

V této části diplomové práce je uveden teoretický základ, kterého bylo využito při návrhu řešení palubního počítače. Jsou zde ve stručnosti popsány možné způsoby měření daných parametrů spalovacího motoru (sopsis funkcí je uveden v podkapitole 4.2), které jsou pro tuto aplikaci vhodné. Dále jsou zde v potřebné míře popsány komunikační sběrnice a technologie, kterých navrhované zařízení využívá. Závěrečná část této kapitoly se věnuje polohovacímu systému GPS, je zde uvedeno seznámení se standardem NMEA.

3.1 Otáčky motoru

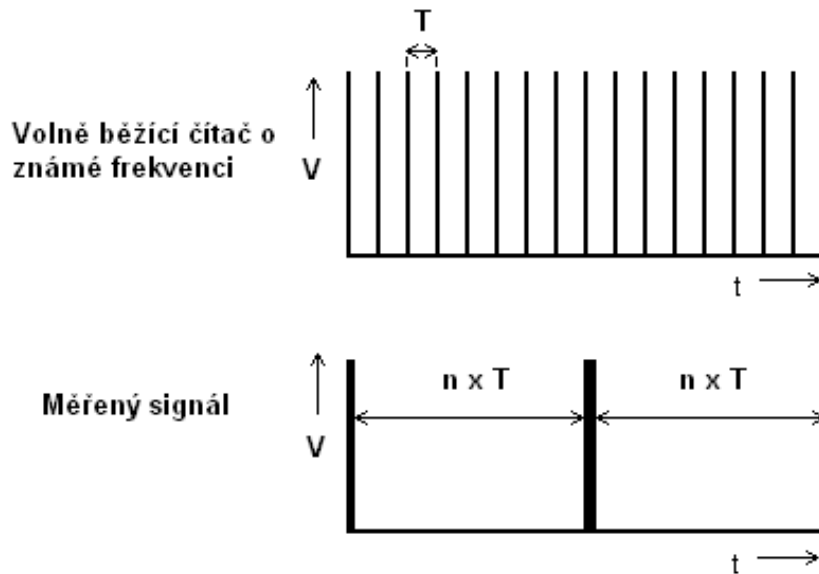
Pro měření otáček je možné užít tři základních metod. Všechny tři metody využívají proudových pulsů probíhajících ve vysokonapětovém kabelu, který vede z indukční cívky k zážehové svíčke. Při každém zážehu svíčky tak prochází vysokonapětovým kabelem jeden proudový puls. V závislosti na použitém zapalovacím systému, je tak generován jeden, dva nebo tři pulsy v průběhu jedné otáčky motoru. Frekvence otáček motoru je tak rovna nebo přímo úměrná frekvenci těchto pulsů. Pulsy jsou snímány cívkou, která je navinuta kolem vysokonapětového kabelu.

První možností jak tyto pulsy zpracovat, je měřit jejich vzájemnou vzdálenost a tak měřit periodu signálu. Pro zpracování je vhodné změřit několik těchto period a následně provést jejich aritmetický průměr.

Druhou možností je převod frekvence pulsů na napětí. Hodnota výstupního napětí je přímo úměrná otáčkám motoru. Následně se toto napětí přivede na vstup převodníku AD a zpracuje. Toto je nejrychlejší způsob, ovšem jeho přesnost je nízká.

Třetí metodou je čítání pulsů za časový úsek. Tato metoda je pomalejší, ale umožňuje velice přesné měření.

V měřicí jednotce je využito prvního způsobu. Protože data odesílaná do kapesního počítače jsou aktualizována jednou za sekundu, nevádí pomalý způsob měření. Pro měření vzdálenosti pulsů je využito časovače mikrokontroléru, u kterého známe frekvenci a tedy periodu. Vzdálenost pulsů je periodou měřeného signálu a ta je rovna N násobku periody časovače. Tento způsob měření frekvence je nakreslen na obrázku 1.

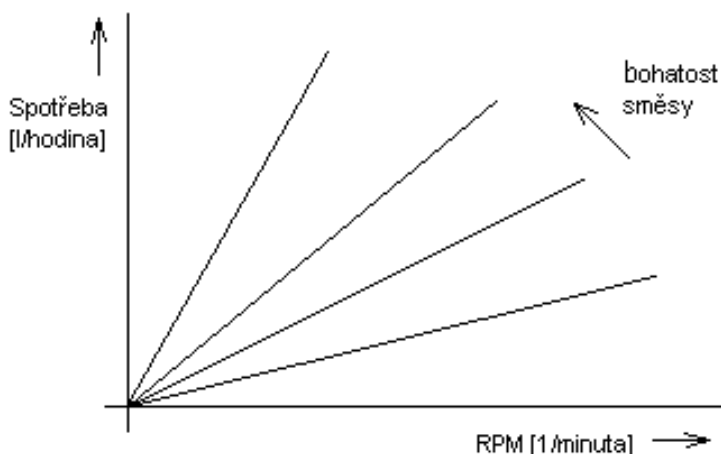


Obr. 1: Měření frekvence signálu

3.2 Spotřeba paliva

Při měření okamžité spotřeby paliva jde vlastně o měření průtoku. K měření průtoku se využívají různé metody, jejichž možnost využití se liší v závislosti právě na velikosti průtoku. Pro měření malých průtoků, kam můžeme spotřebu paliva zařadit, je nejvhodnější využít průtokoměru s mikroturbínkou. Mikroturbínka se skládá z lopatkového kola, které je prouděnou kapalinou uváděno do rotačního pohybu a ústrojím, ve kterém je lopatkové kolo uloženo. Rychlost otáčení lopatkového kola je pak úměrná průtoku.

Aby bylo možné z průtoku určit okamžitou spotřebu paliva, musí být pohonná jednotka vybavena membránovým karburátorem. Tento typ karburátoru plní funkci podávacího palivového čerpadla. Činnost podávacího čerpadla je řízena podtlakem, který vzniká v klikové skříni při pohybu pístu z dolní úvratě do horní úvratě. Průtok paliva je tak funkcí otáček motoru. Parametrem této funkce je bohatost směsi paliva a přisávaného vzduchu. Tuto závislost lze zjednodušeně znázornit graficky, jak je uvedeno na obrázku 2. Ve skutečnosti však tento průběh není lineární a není tak možné určit aktuální spotřebu paliva ze známých otáček motoru a nastavené bohatosti směsi.



Obr. 2: Spotřeba paliva

Při použití plovákového karburátoru by nebylo možné tento způsob měření použít, protože rychlost proudění paliva do karburátoru je konstantní. Pokud dojde k zaplnění plovákové komory, přísun paliva je ventilem uzavřen a otevírá se až po odčerpání určitého množství paliva motorem. V tomto případě by bylo možné měřit pouze průměrnou spotřebu za delší časový úsek.

Průtokoměr s mikroturbínkou generuje pulsy, jejichž frekvence je přímo úměrná průtoku paliva. Pulsy jsou generovány hallovým snímačem, který je uložen ve vnitřním ústrojí průtokoměru.

3.3 Teplota vzduchu [6]

Nejjednodušší způsob jak měřit teplotu vzduchu je využít inteligentního teplotního senzoru. Pro měřicí jednotku bylo využito senzoru LM75 os společnosti National Semiconductors. Jedná se o teplotní senzor s delta-sigma převodníkem AD s výstupem na sběrnici TWI (I^2C). Vstupní napětí převodníku AD je získáno z teplotně závislého proudu americké proudové reference, která je využívána v napěťových referencích typu bandgap. Základní charakteristika tohoto obvodu je v tabulce 1.

Tab. 1: Základní parametry obvodu LM75

napájecí napětí	3 V - 5,5 V	
spotřeba	typická	250 μ A
	maximální	1 mA
	režim spánku	4 μ A
přesnost měření	-25°C – 100°C	2°C (max)
	-55°C – 125°C	3°C (max)

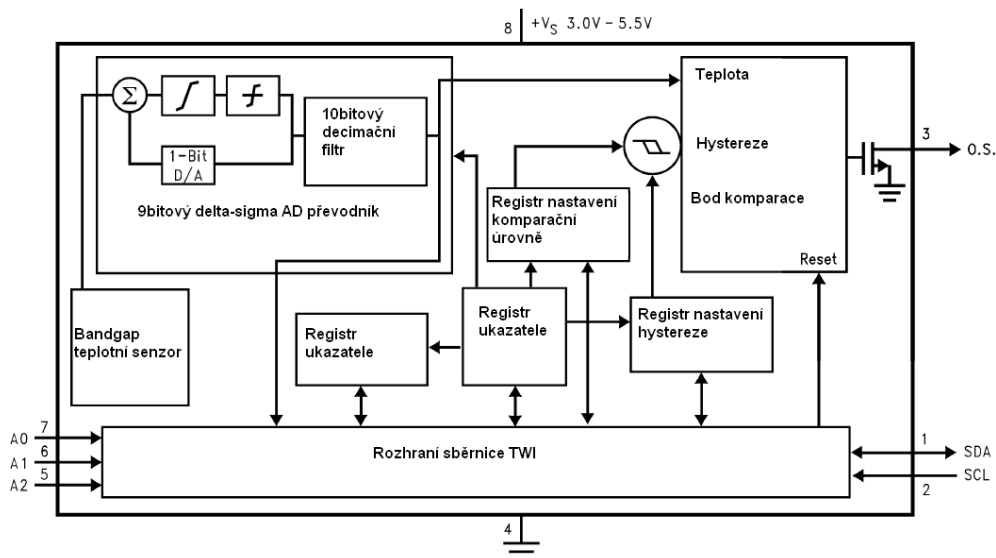
Popis činnosti LM75

Obvod LM75 obsahuje 9bitový Převodník AD typu Delta-Sigma a napěťovou referenci typu band-gap. Informace o teplotě je dostupná v jakémkoli čase. V případě, že je podán dotaz na teplotu a souběžně je prováděn převod, je převod zastaven a restartován po obslužení dotazu. Obvod je dále vybaven programovatelným komparátorem. Je možné nastavit počet čtených hodnot, které jsou porovnávány s komparační hodnotou. Dále je možné definovat komparační úroveň a hysterezi. Výstup komparátoru je vyveden na pin O.S., jedná se o výstup typu otevřený drain.

V módu komparátoru je funkce LM75 obdobná klasickému termostatu. Výstup je aktivní v případě, že je překročena stanovená teplota. Naopak nízká úroveň výstupu nastane v případě, že teplota klesne o hodnotu hystereze pod stanovenou hodnotou komparace. Tento mód tak umožňuje využití obvodu pro řízení činnosti ventilace v zařízení, pro upozornění na překročení limitní hodnoty teploty nebo k redukci hodinového signálu CPU.

V přerušovacím módu způsobí překročení stanovené hodnoty teploty také aktivaci O.S., ale v tomto případě zůstává aktivní do té doby než je provedeno čtení prostřednictvím TWI (popis sběrnice je v kapitole 3.5.1). Jakmile je překročena stanovená teplota, reset může být proveden pouze pokud teplota klesla o hodnotu hystereze pod stanovenou hodnotu komparace. V přerušovacím módu tedy musí být pro deaktivaci O.S. plněny dvě podmínky, vyčtení některého registru prostřednictvím TWI a současně musí dostatečně klesnout teplota.

Pro snížení spotřeby může obvod pracovat v módu, kdy je provedeno pouze jedno měření a po vyčtení naměřené hodnoty obvod přechází do úsporného režimu. Spotřeba pak klesne na $1\mu\text{A}$. Tento mód je označován jako SHUTDOWN. Blokové schéma LM 75 je na obrázku 3. [6]



Obr. 3: Blokové schéma LM75

Komunikační sběrnice TWI

Obvod LM75 pracuje z hlediska sběrnice TWI jako podřízený obvod (slave). Linka SCL je vstupní, obvod tedy není schopen generovat hodinový signál. Linka SDA je obousměrná. Podle specifikace TWI je adresa LM75 7bitová. První čtyři významnější bity jsou hardwarově pevně nastaveny na hodnotu "1001". Spodní tři bity adresy jsou definovatelné připojením na odpovídající logickou úroveň. Na jedné sběrnici tak může být adresováno až osm obvodů LM75.

Teplotní data jsou reprezentována devítibitovým slovem s dvojkovým doplňkem. Hodnota LSB odpovídá 0,5 °C. Příklad kódování teploty do devítibitového slova ukazuje tabulka 2.

Tab. 2: Příklad kódování teploty do 9bitového slova

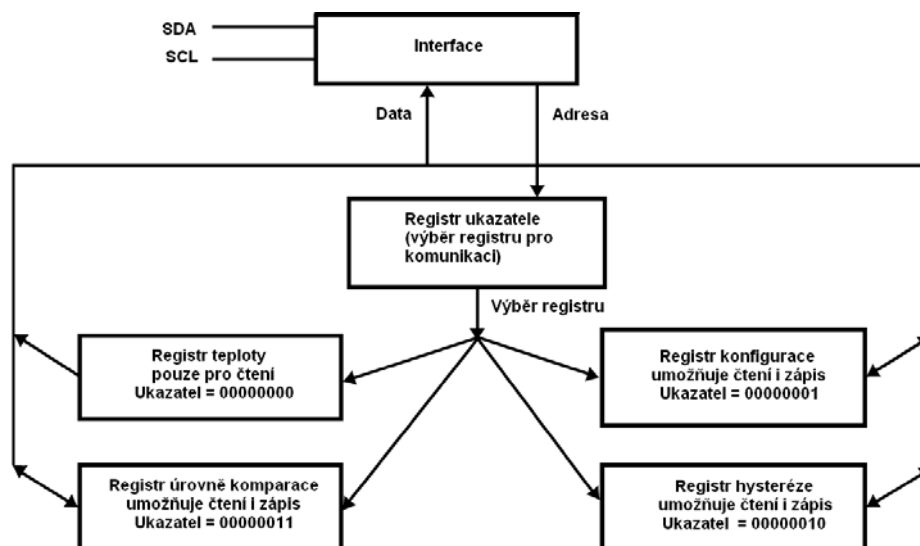
teplota	digitální výstup	
	binární vyjádření	hexadecimální vyjádření
+125°C	0 1111 1010	0FAh
+25°C	0 0011 0010	032h
+0.5°C	0 0000 0001	001h
0°C	0 0000 0000	000h
-0.5°C	1 1111 1111	1FFh
-25°C	1 1100 1110	1CEh
-55°C	1 1001 0010	192h

V obvodu LM75 jsou čtyři funkční 8bitové registry, které slouží k čtení naměřených dat, nastavení režimu činnosti, komparační úrovně a hysterezní hodnoty pro komparátor. Pátý registr slouží jako výběrový ukazatel, kterým je určeno do jakého z funkčních registrů budeme data zapisovat, nebo je číst.

Zápisu dat do registru obvodu předchází vyslání adresového bajtu a bajtu ukazatele. Zápis do konfiguračního registru následně vyžaduje vyslání jednoho bajtu, pro nastavení komparační úrovně a hystereze je zapotřebí po dvou bajtech.

Čtení dat je zjednodušeno. Pokud odpovídá hodnota ukazatele požadovanému registru, stačí pro čtení odeslat pouze bajt s adresou a obvod vyšle na sběrnici data, která odpovídající registr obsahuje.

Schematické znázornění struktury registrů s vyznačením směru toku dat je na obrázku 4. V tabulce 3 je uvedeno označení a popis vývodů LM75.



Obr. 4: Struktura registrů v LM75

Tab. 3: Označení a popis vývodů obvodu LM75

označení	pin #	popis
SDA	1	datová linka SDA (sběrnice TWI)
SCL	2	hodinový signál SCL (sběrnice TWI)
O.S.	3	výstup komparátoru.
GND	4	zem napájení.
+Vs	8	připojení napájecího napětí od 3V do 5,5V
A0-A2	7,6,5	piny pro nastavení volitelné části adresy.

3.4 Teplota motoru [5]

U vzduchem chlazených dvoutaktních spalovacích motorů se za teplotu motoru udává teplota hlavy motoru v oblasti závitů zážehové svíčky. Je to z toho důvodu, protože tato teplota může být pro motor kritickou a může také sloužit jako určitý ukazatel při diagnostice motoru. Pokud tato teplota vzroste při provozu v normálních podmínkách nad 190 °C, zpravidla je to způsobeno špatně nastavenou koncentrací směsi vzduchu a benzínu. Dlouhodobější činnost motoru, jehož teplota přesahuje právě tuto hodnotu, vede zvýšení třecích sil. Tím zpravidla dochází k zadření pístu ve válci motoru a ke kritickému poškození spalovacího motoru. Z výše uvedených důvodů může být výhodné teplotu motoru měřit

Tato teplota může dosahovat až hodnoty 200 °C. Není tedy možné použít běžných polovodičových senzorů, u nichž je maximální měřitelná teplota omezena fyzikálními jevy na hodnotě 130 °C.

Jednou z možností je použití platinového senzoru. V tomto případě by však bylo obtížné mechanické uchycení čidla k motoru. S mechanickým uchycením souvisí také styčná plocha mezi senzorem a motorem a tím činitel přenosu tepla. Bylo by tedy nevyhnutelné nějakým invazivním způsobem vytvořit uchycení čidla v blízkosti zážehové svíčky. To je velice obtížné z důvodu omezeného manipulačního prostoru v okolí zážehové svíčky díky chladicímu žebrování hlavy motoru.

Nejvhodnější řešení pro měření teploty motoru je využití termoelektrického článku. Termoelektrický článek má tvar podložky, která se vloží pod zážehovou svíčku. Není tedy nutné nijak upravovat hlavu motoru. Styčná plocha mezi motorem a čidlem se tak pohybuje kolem 95% celkového povrchu čidla.

Signál z termoelektrického článku je zesílen a korigován korekčním zesilovačem. Po této úpravě je signál přiveden na vstup převodníku AD, který je integrovanou periferií mikrokontroléru.

Jako korekčního zesilovače pro signál z termoelektrického článku je využito obvodu AD596 společnosti Analog Devices. Obvod zajišťuje dostatečné zesílení signálu, linearizaci průběhu a kompenzaci termoelektrického napětí na studeném konci termoelektrického článku. Výstupní průběh je kalibrován s citlivostí 10 mV/°C.

Termoelektrický článek generuje napětí o nízké úrovni, které je závislé na teplotě měřicího konce a na teplotě studeného konce. Obvod AD596 kompenzuje parazitní termoelektrické napětí na studeném konci a poskytuje termoelektrické napětí, které je závislé pouze na měřené teplotě (teplota měřicího konce). Teplotní stabilita ovlivňuje výstupní citlivost obvodu a je závislá na teplotě okolí, potažmo na teplotě obvodu. Stabilita typicky dosahuje hodnoty 0,02 °C/°C při teplotě okolí +25 °C až +100 °C, což je doporučené rozmezí okolní teploty pro tento obvod. Obvod pracuje i v rozsahu okolních teplot -55 °C až 125 °C, ovšem jeho citlivost je značně snížena nelinearitou průběhu. Výstupní napětí obvodu je možné spočítat podle rovnice (1), kde V_{AD596} je výstupní napětí obvodu a V_{TC} je termoelektrické napětí na výstupu termoelektrického článku.

$$V_{AD596} [\mu V] = (V_{TC} + 301.5) \cdot 180,57 \quad (1)$$

Obvod může pracovat od 5 V asymetrického napájení do 36 V symetrického napájení (hodnota symetrického napájení je typu peak-to-peak). Výstupní napětí je ovšem omezeno na 2 V pokud není použito napájecího napětí minimálně 10 V. Toto omezení způsobí, že maximální měřitelná hodnota teploty hlavy motoru bude 200 °C, což by v této aplikaci nemělo být překážkou. [5]

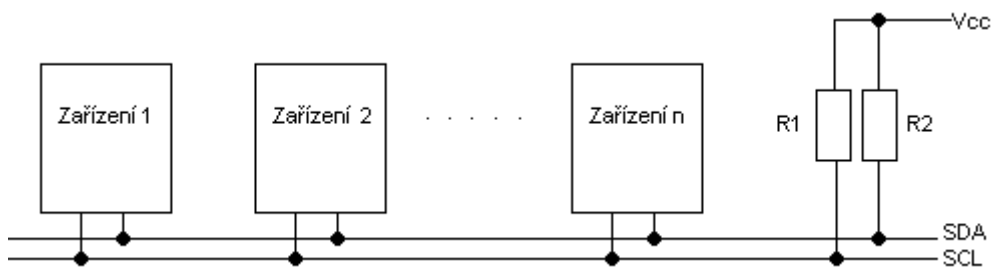
3.5 Komunikace

Tato podkapitola obsahuje stručný popis činnosti sběrnice TWI, která slouží v měřicí jednotce ke komunikaci mezi teplotním senzorem LM75 a mikrokontrolérem. Dále jsou zde uvedeny informace o bezdrátové technologii bluetooth.

3.5.1 TWI [2]

Sběrnice TWI bývá častěji označována jako I²C, firma ATMEL ovšem v dokumentaci k mikrokontrolérům uvádí označení TWI, proto bude dále uváděno toto označení.

Sběrnice TWI je ideálně využitelná pro aplikace s mikrokontroléry. Komunikační protokol umožňuje připojení až 128 různých zařízení. Sběrnice TWI je dvou vodičová obousměrná sériová sběrnice vytvořená firmou Philips Semiconductors. Jedna linka slouží pro hodinový signál přenosu (SCL) a druhá pro sériový přenos dat (SDA). Obě linky SDA i SCL jsou připojeny prostřednictvím zvyšovacích „Pull-Up“ rezistorů k napájení. Velikost těchto rezistorů je závislá na frekvenci sběrnice, obecně se pohybuje kolem 10 kΩ. Obecné uspořádání sběrnice je na obrázku 5. Každé zařízení, které je ke sběrnici připojeno má vlastní adresu.



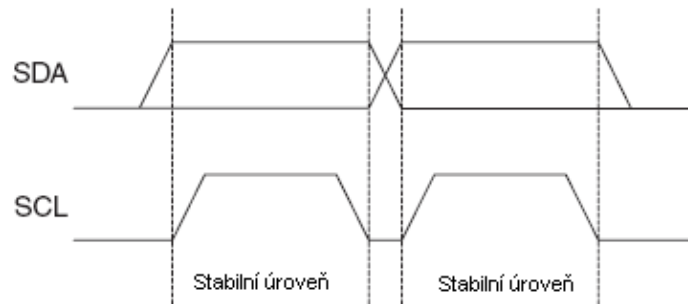
Obr. 5: Obecné uspořádání sběrnice TWI

Každé zařízení má vstup/výstup typu otevřený drain nebo otevřený kolektor. Pokud by byla všechna zařízení odpojena, SDA i SCL by byly v logické 1. Logická úroveň 0 nastane, pokud na výstupu alespoň jednoho ze zařízení bude logická 0. Tím je zajištěna práce linek SDA a SCL v obou směrech.

Maximální počet zařízení, která mohou být na sběrnici připojena je limitován sedmi bity, které tvoří adresu daného zařízení a celkovou kapacitou sběrnice 400 pF. [2]

3.5.2 Protokol

Každý bit, který je vyslán na sběrnici (SDA) musí mít stabilní logickou úroveň po celou dobu trvání pulsu SCL. Změny logické úrovně SDA v průběhu trvání logické jedničky na SCL jsou chápány jako řídicí signál, což je uvedeno dále. Situaci popisuje obrázek 6

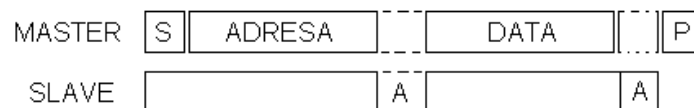


Obr. 6: Podmínka stability log úrovně pulsu v průběhu SCL pulsu

Pro zahájení a ukončení přenosu jsou využívány změny SDA v průběhu trvání pulsu na SCL. Zahájení přenosu (START) je oznámeno sestupnou hranou SDA a ukončení přenosu (STOP) naopak náběžnou hranou SDA. Pokud je sběrnice v klidovém stavu SDA=1 a SCL=1.

Každý přenesený bajt musí být potvrzen potvrzovacím bitem ACK. Potvrzovací bit je vložen na sběrnici přijímačem souběžně s hodinovým pulsem. Přijímač musí tedy po každém osmém bitu vyslat potvrzovací bit. Počet přenesených bitů mezi START a STOP podmínkou není nijak omezen. Datové bity jsou na sběrnici vysílány počínaje nejvýznamnějším (MSB), nejméně významný bit (LSB) je vyslán jako poslední.

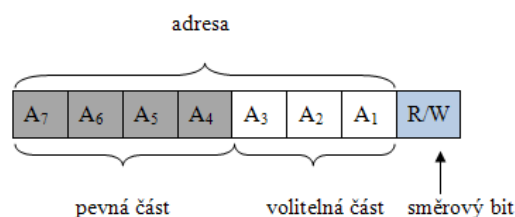
Bajty odesílané na sběrnici můžeme rozdělit na adresové a datové. Adresa zařízení připojeného ke sběrnici musí být z důvodu absence adresové sběrnice vysílána stejným způsobem jako data. Po vyslání START signálu tedy následuje odeslání sedmi platných adresových bitů. Adresový bajt je zakončen bitem určujícím směr přenosu. Po vyslání adresového bajtu musí následovat ACK signál od přijímacího (adresovaného) zařízení. Dále je vyslán datový bajt zakončený opět ACK signál od přijímacího zařízení. Přenos je zakončen STOP signálem. Celý průběh je zachycen na obrázku 7.



Obr. 7: Příklad datového přenosu po sběrnici TWI

Byl popsán obecný princip přenosu dat po sběrnici TWI. Každý obvod (zařízení) připojený na sběrnici zpravidla plní jinou úlohu a proto se liší i způsob přenášení a typ přenášených dat. Konkrétní přenosový protokol se tedy bude lišit podle použitého obvodu.

Adresa obvodu se skládá ze sedmi bitů. Část adresy je pevná, ta je hardwarově zabudována. Zbylá část adresy je volitelná a umožňuje tak připojit několik obvodů stejného typu. Volitelná část adresy se nastavuje pomocí adresových vstupů připojením na napájení nebo na zem. Nejnižší bit adresy určuje směr přenosu. Pokud řídicí obvod vysílá data, bude mít tento bit hodnotu 1. V případě že jsou data řídicím obvodem přijímána, bude mít nejnižší bit adresového bajtu hodnotu log. 0. Adresový bajt je obecně znázorněn na obrázku 8. [2]

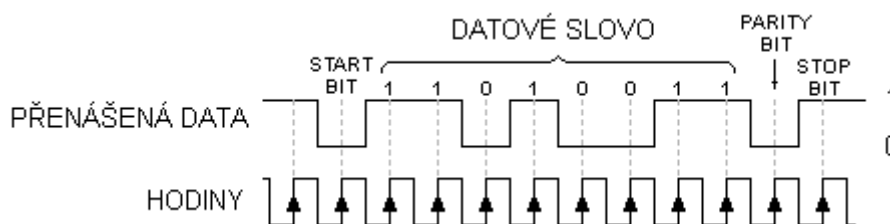


Obr. 8: Adresový bajt sběrnice TWI

3.5.3 UART [12]

Komunikační rozhraní UART slouží v měřicí jednotce pro přenos informací mezi modulem bluetooth a mikrokontrolérem.

UART používá asynchronní sériový přenos informací. Každý přenesený datový rámeček je synchronizován sestupnou hranou start bitu, za kterým následují přenášená data. Po přenesení datových bitů následuje paritní bit, datový rámeček je uzavřen jedním nebo dvěma stop bity. Příklad datového rámečku s jedním použitým stop bitem je na obrázku 9.



Obr. 9: datový rámeček UART

Parita je nejjednodušším způsobem kontroly správnosti přenosu datového rámečku. Ve vysílacím zařízení se sečte počet jedničkových a doplní se paritním bitem tak, aby byla zachována předem stanovená podmínka sudého nebo lichého počtu jedničkových bitů (sudá nebo lichá parita).

- SUDÁ PARITA – počet jedničkových bitů + paritní bit = sudé číslo
- LICHÁ PARITA - počet jedničkových bitů + paritní bit = liché číslo
- SPACE PARITY - Tzv. nulová parita – paritní bit je vždy v log. 0, používá se například při komunikaci 7bitového zařízení s 8bitovým, kdy paritní bit nahrazuje tvrdou log. 0 poslední bit v bajtu, tím je zachována kompatibilita s 8bitovým přenosem.
- MARK PARITY - Paritní bit je nastaven tvrdě na log. 1, při kompenzaci 7bitového provozu je třeba jej na přijímací straně nulovat, jinak není kompatibilní s ASCII.

Je patrné, že kontrola parity dokáže detekovat chybu přenosu, která je způsobena pouze lichým počtem chybných bitů. Při sudém počtu chybných bitů parita opět souhlasí a chyba není detekována. Proto pokud je kontrola přenosu vyžadována, přistupuje se spíše k softwarovému řešení.

Stop bit definuje ukončení datového rámce. Tím také zajišťuje určitou prodlevu mezi rámci a dává tak přijímací straně čas na zpracování právě přijatého rámce. U pomalejších zařízení je tento bit vyslán dvakrát.

Rychlost, stejně jako ostatní parametry přenosu, musí být nastavena stejně na vysílací, tak i na přijímací straně. Udává se v bitech za sekundu (bps). Je nutné poznamenat, že při přenosu v asynchronním režimu je čtvrtina všech bitů v datovém rámci využita k administraci přenosu. Pro přenos velkého množství se tak může asynchronní režim jako neefektivní.

V závislosti na potřebě dané aplikace je možné rychlost přenosu v určitém rozsahu libovolně měnit. Při změně rychlosti je ovšem nutné brát ohled na frekvenci oscilátoru, z kterého je odvozen hodinový signál přenosu. Se vzrůstajícím rozdílem mezi frekvencemi vysílacího a přijímacího obvodu roste chybovost přenosu.

3.5.4 Bluetooth [9]

Bluetooth je bezdrátová komunikační technologie, která byla vyvinuta pro komunikaci v sítích PAN (Personal Area Networks). Slouží k výměně informací mezi mobilními telefony, notebooky, osobními počítači, tiskárnami, digitálními kamerami, ale také mezi průmyslovými zařízeními. Rádiový přenos probíhá v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz.

Charakteristika

Technologie bluetooth byla původně navržena jako nízko-výkonová technologie s krátkým dosahem. V závislosti na dosahu a vysílacím výkonu se tak dělí zařízení do třech skupin, jak je uvedeno v tabulce 4.

Tab. 4: Rozdělení zařízení bluetooth dle dosahu

třída	maximální vysílací výkon	dosah
Třída 1	100 mW (20 dBm)	~ 100 m
Třída 2	2,5 mW (4 dBm)	~ 10 m
Třída 3	1mW (0 dBm)	~ 1 m

Aby mohla daná zařízení, která jsou v dosahu mezi sebou komunikovat, nemusí být dodržena žádná charakteristická topologie sítě. Tento způsob propojení se nazývá Ad-Hoc.

Způsoby jakými je možné bluetooth v daném zařízení využít jsou dány profily. Profil udává způsob komunikace mezi dvěma zařízeními. Data, která jsou přenášena, jsou pro daný profil charakteristická. Aby tedy dvě zařízení mohla mezi sebou komunikovat, musí obě podporovat stejný komunikační profil. V tabulce 5 je uveden krátký výčet profilů, které udávají způsob využití daného zařízení.

Tab. 5: Funkční profily bluetooth

označení	jméno	funkce
GAP	Generic Access Profile	Sestavení spojení
IP	Intercom Profile	Možnost plně duplexního hlasového přenosu mezi třemi mobilními telefony
SPP	Serial Port Profile	Bezdrátová komunikace dle standardu RS-232
LAP	LAN Access Profile	Přístup do sítě LAN
FTP	File Transport Profile	Profil pro výměnu souborů
SP	Synchronization Profile	Synchronizace např. mezi PDA a PC

Párování

Jako párování je označován autorizační proces při sestavování spojení bluetooth. Zařízení, které je dotazováno na spojení vystaví autorizační kód (zadaný uživatelem) a pošle žádost o zadání tohoto kódu druhé straně, která spojení iniciuje. V případě, že je zadán správný kód, dojde k “spárování“ těchto dvou zařízení. Takto “spárovaná“ zařízení potom mohou v budoucnu mezi sebou komunikovat bez nutnosti opětovné autorizace a při výměně dat mezi sebou mohou použít šifrování, proti odposlechu třetí stranou.

Sestavení spojení

Každé zařízení vybavené bluetooth adaptérem je schopné v závislosti na nastavení vysílat následující informace:

- Jméno zařízení
- Adresu zařízení (48 bitů)
- Třída zařízení
- Seznam služeb, které dané zařízení podporuje
- Technické informace (například výrobce, hlavní rysy, další specifikace)

Typický postup sestavení prvotního spojení mezi dvěma zařízeními může být následující:

1. Vyhledání těch zařízení, která jsou v dosahu iniciujícího zařízení a jsou ve “vyhledatelném“ stavu
2. Výběr konkrétního zařízení, s kterým má být spojení sestaveno
3. Výběr služby, která bude při spojení využita
4. Párování

Rádiové rozhraní

Bluetooth pracuje v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz, stejně tak jako Wi-fi. K přenosu využívá metody FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum). Metoda FHSS spočívá v rychlém přepínání vysílací frekvence. Frekvence je přepínána kmitočtem 1,6kHz mezi 79 kanály, rozstup kanálů je 1MHz. Tento mechanismus má zvýšit odolnost spojení vůči rušení na stejné frekvenci. Jak je výše uvedeno, je definováno několik výkonových tříd (2,5 mW, 10 mW, 100 mW) s nimiž je umožněna

komunikace do vzdálenosti cca 10 – 100 m. Dosah je ovšem značně závislý na prostředí mezi komunikujícími stranami. Udávané hodnoty platí pro volné prostředí. Pokud je v cestě nějaká překážka, dochází zpravidla k snížení přenosové rychlosti.

Komerční verze

Jako první verzi je možné označit verzi 1.1, která byla uvedena v roce 1998. Předchozí verze 1.0 a 1.0B měly spousty chyb, které pramenily z vývoje. Verze 1.1 byla tedy první využitelnou verzí, ve které byly opraveny chyby a problémy předchozích verzí.

Většina současných zařízení, která disponuje technologií bluetooth je vybavena novější verzí 1.2. Tato verze nabízí zpětnou kompatibilitu s verzí 1.1, větší přenosové rychlosti, lepší příjem signálu a HCI (Host Controller Interface), podporující připojení třech rozhraní UART. Ve verzi 1.2 byla poprvé v bluetooth využita metoda FHSS.

Hlavním přínosem následující verze 2.0 bylo hlavně zvýšení přenosové rychlosti. Přenosová rychlost tak vzrostla na 2,1 Mbps, což je trojnásobek původní rychlosti.

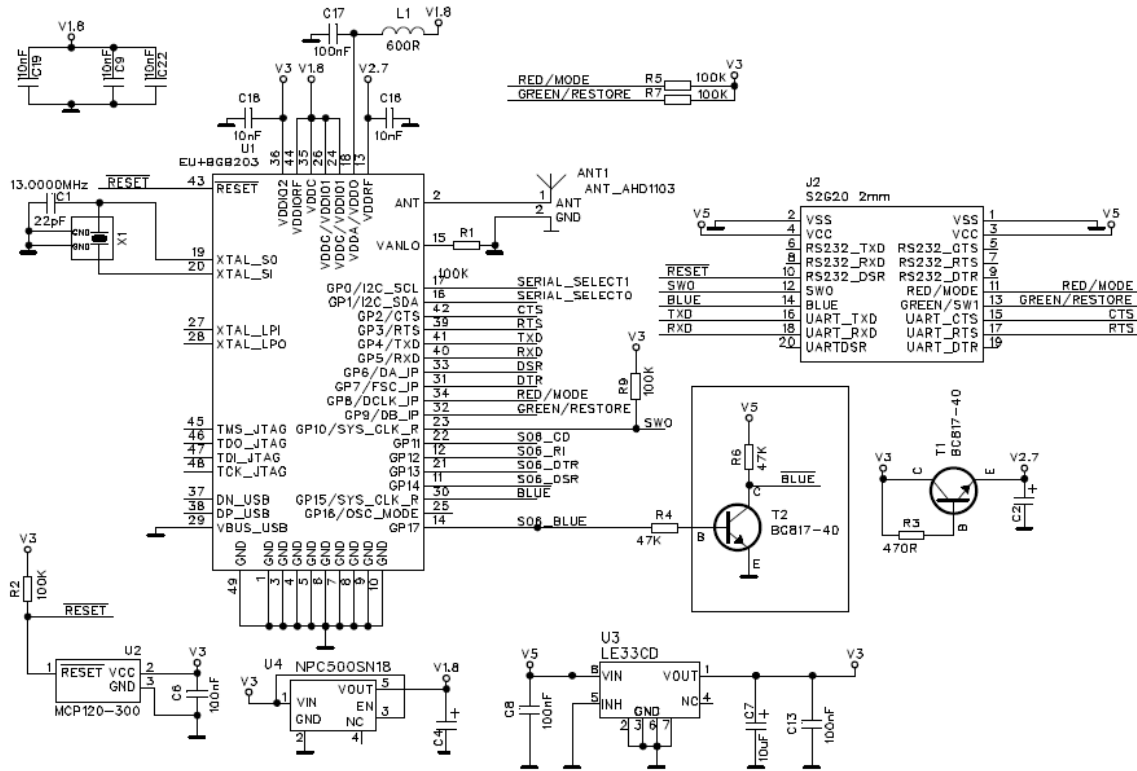
V červenci 2007 byla na trh uvedena nová verze s označením 2.1, která umožňuje již při vyhledávání dosažitelných zařízení podle profilů (funkcí), které podporují. Výrazně snižuje spotřebu adaptéru, pokud je datový přenos asynchronní, nebo pokud je zařízení v úsporném režimu.

V budoucnu by měla být uvedena na trh verze 3.0 označována jako Seattle. Nejvýznamnějším přínosem by mělo být využití rádiové technologie UWB (Ultra-WideBand), která umožní zvýšení přenosové rychlosti až na 480 Mb/s.

BTMODUL106

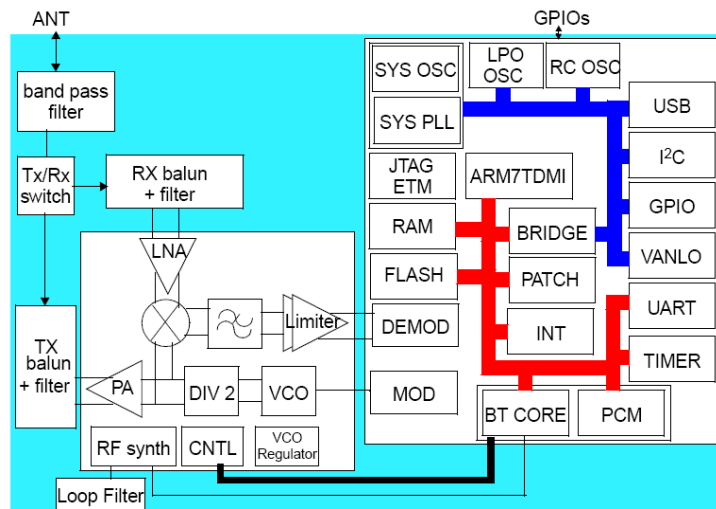
V měřicí jednotce je využito bluetooth modulu BTMODUL106, jehož konstrukce je zde popsána. Autorem konstrukce je Ing. Petr Zítka.

Konfigurace modulu se může řídit dle dokumentace k modulu OEMSPA333 společnosti Connectblue. Jediný podstatný rozdíl od modulu OEMSPA333 spočívá v tom, že nejsou vyvedeny na pinovou lištu vývody s napěťovými úrovněmi RS-232. Pro komunikaci tak slouží UART s napěťovými úrovněmi 3,3 V. Zapojení modulu BTMODUL106 je uvedeno na obrázku 10.



Obr. 10: Zapojení bluetooth modulu BTMODUL106

Základem je obvod BG203 společnosti Philips Semiconductors, který v sobě kombinuje všechny části potřebné pro bezdrátovou komunikaci bluetooth. Obvod odpovídá specifikaci bluetooth ve verzi 1.2. RF část pracuje v pásmu 2402 až 2480 MHz a využívá metody FHSS pro snížení vlivu rušení na jedné frekvenci. Obvod disponuje rozhraním UART, komunikační sběrnici I²C, komunikační sběrnici USB. Blokové diagram obvodu je obrázku 11.



Obr. 11: Blokový diagram obvodu BGB203

Základním napájecím napětím modulu je 5 V. Dále je napětí stabilizováno na 3,3 V prostřednictvím napěťového stabilizátoru LE33CD. Pro napájení dílčích bloků obvodu BG203 je ovšem nutné získat ještě napětí 1,8 V, 2,7 V. Napětí 1,8 V je dosaženo nastavitelným stabilizátorem NCP500 a je dále filtrováno. Potřebné napětí 2,7 V je získáno jednoduchým zapojením tranzistoru T1.

Jako zdroj hodinového signálu využívá obvod BG203 krystalu o frekvenci 13 MHz. Anténa je připojena k obvodu mikrostrip páskem, který je vyleptán přímo v mědi DPS.

K připojení modulu do cílové aplikace slouží pinová lišta 2 x 10 pinů s roztečí 2 mm.

3.6 GPS

GPS (Global Position System) je vojenský satelitní navigační systém provozovaný Ministerstvem obrany USA. [10] Vývoj GPS začal v roce 1973. Plně funkčním a dostupným i pro civilní účely se stal v roce 1994. Tento systém dokáže s přesností několika metrů určit pozici kdekoliv na Zemi. Přijímače GPS zachycují signály satelitů a z těchto údajů počítají svoji přesnou pozici, rychlost a směr pohybu. K určení polohy postačuje signál tří satelitů, pro zjištění nadmořské výšky je třeba alespoň čtyř satelitů. Čím větší je počet zachycených satelitů, tím přesnější jsou udávané informace. Každá družice vysílá rádiové vlny, které nesou informace o poloze družice a o čase, kdy byl daný signál vyslán. Ze známé rychlosti rádiových vln a časové prodlevy mezi vysláním a přijetím signálu lze jednoduše určit vzdálenost družice od přijímače. Pokud je signál přijímán alespoň ze tří družic, je možné pomocí triangulace určit přesnou polohu přijímače. Kolem země obíhá 24 družic, z čehož je 21 aktivních, zbylé tři jsou záložní. Družice obíhají v šesti drahách, které jsou vzájemně pootočený o 60°. Vzdálenost družic od země je 20200 km. Signál GPS je vyslán na pěti frekvencích s označením L1 až L5. L1 slouží pro civilní účely. Frekvence L2 je využívána pro vojenské účely a pro zpřesnění využívá L1. Frekvence L3 slouží k detekování startů balistických raket a jaderných výbuchů a zdrojů infračerveného záření. Frekvence L4 a L5 jsou využívány zatím k testovacím účelům. [10]

3.6.1 NMEA data

Systém GPS podává informace o poloze, které jsou přijímačem interpretovány do podoby NMEA zpráv. Podoba a skladba těchto zpráv byla stanovena stejnojmennou asociací NMEA (National Marine Electronics Association). V následujících tabulkách je na příkladech uvedeno, jaké informace věty nesou. Pro stručnost jsou zde uvedeny pouze věty, kterých je využito v aplikaci pro kapesní počítač.

Tab. 6: Rozbor věty GPRMC standardu NMEA

\$GPRMC,040302.663,A,3939.7,N,10506.6,W,0.27,358.86,190208,,*1A	
\$GPRMC	identifikátor věty
040302.663	časový údaj UTC
A	platnost dat (A – platná, V –neplatná)
3939.7	zeměpisná výška - 39°39.7'
N	polokoule (N –severní, S – jižní)
10506.6	zeměpisná délka - 105°06.6
W	Polokoule (W – západní, E –východní)
0.27	Pozemská (horizontální) rychlost v kontech
358.86	Směr pohybu ve stupních (0-sever, 90-východ, 180- jih, 270 – západ)
190208	Datum

Tab. 7: Rozbor věty GPGGA standardu NMEA

\$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47	
\$GPGGA	identifikátor věty
123519	časová známka platnosti dat
A	platnost dat (A – platná, V –neplatná)
4807.038	zeměpisná výška - 39°39.7'
N	polokoule (N –severní, S – jižní)
01131.000	zeměpisná délka - 105°06.6
E	polokoule (W – západní, E –východní)
1	kvalita fixu
08	počet přijímaných satelitů
0.9	horizontální dilatace pozice
545,4	výška AMSL v metrech
46,9	výška nad WGS84 elipsoidem
-	čas v sekundách od poslední DGPS korekce
-	ID číslo DGPS stanice
*47	kontrolní součet

3.6.2 Vzdálenosti dvou pozic na zemském povrchu [11]

Rovnice pro výpočet vzdálenosti mezi dvěma pozicemi. Je možné využít tří základních způsobů.

První způsob využívá pythagorovy věty, kde každá odvěsna je dána součinem vzdáleností v desítkových stupních a vzdálenosti na jeden stupeň v kilometrech. Vzdálenost mezi dvěma body je pak dána přeponou pravoúhlého trojúhelníku. Využívá se zde předpokladu, že vzdálenost mezi dvěma sousedícími stupni výšky je 111,2 km. Vzdálenost mezi dvěma sousedícími stupni šířky je

proměnlivá a závislá na poloze, proto je zde využíváno průměrné hodnoty 85,3 km/°. Výpočet je uveden v rovnici níže.

$$L_{LAT} = 112,2 \cdot (LAT_2 - LAT_1), \quad (2)$$

$$L_{LONG} = 85,3 \cdot (LONG_2 - LONG_1), \quad (3)$$

$$L = \sqrt{L_{LAT}^2 + L_{LONG}^2}, \quad (4)$$

kde L_{LAT} a L_{LONG} je vzdálenost bodů v geodetické délce a výšce a L je celková vzdálenost.

Tento způsob je poměrně jednoduchý na výpočet, ale zavádí do výsledku chybu, která je způsobena použitím průměrné hodnoty vzdálenosti mezi dvěma sousedícími stupni šířky. Druhý způsob je přesnější. Výpočet vzdálenosti přes jeden stupeň geodetické výšky je založen na umístění bodů na povrchu koule. Výpočet je pak následující:

$$L_{LAT} = 112,2 \cdot (LAT_2 - LAT_1), \quad (5)$$

$$L_{LONG} = 112,2 \cdot (LONG_2 - LONG_1) \cdot \cos(LAT_1 - 85,3), \quad (6)$$

$$L = \sqrt{L_{LAT}^2 + L_{LONG}^2}. \quad (7)$$

Nejpřesnější je poslední způsob, který využívá trigonometrické rovnice, kdy oba body jsou umístěny na povrchu koule. Tento způsob je nejpřesnější, ale je také náročnější na výpočet.

$$L = 112,2 \cdot \frac{180}{\pi} \cdot \arccos[\sin LAT_1 \cdot \sin LAT_2 + \cos LAT_1 \cdot \cos LAT_2 \cdot \cos(LONG_1 - LONG_2)] \quad (8)$$

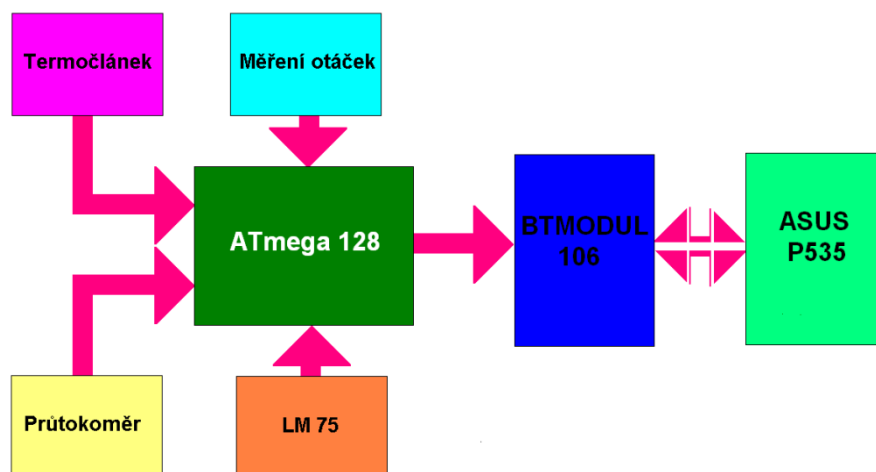
V navrhovaném řešení je využito třetího způsobu, protože kapesní počítač disponuje dostatečným výpočetním výkonem.

4 Řešení

Následující kapitoly dokumentují realizovaný způsob řešení diplomové práce. V obvodové části jsou popsány obvodové principy, kterých je využito pro řešení dílčích úseků měření. V softwarové části je popsáno programové vybavení pro mikrokontrolér a aplikace pro kapesní počítač.

4.1 Koncepce

Tento způsob řešení využívá kapesního počítače, který disponuje přijímačem GPS. Řešení se tak skládá ze dvou zařízení. Základem je měřicí jednotka, která je napevno instalována u spalovacího motoru. Měřicí jednotka obsahuje všechny potřebné obvody pro získávání informací o činnosti motoru. Tyto informace předává do aplikace, která je spuštěna v kapesním počítači. K přenosu informací mezi měřicí jednotkou a aplikací v kapesním počítači je využito bezdrátové technologie bluetooth. Aplikace dále přijímá data z přijímače GPS, který je v kapesním počítači integrován. Na základě získaných údajů z měřicí jednotky a GPS jsou aplikací vypočteny další parametry, které mohou být pro let podstatné a užitečné. Blokové schéma tohoto řešení je na obrázku 12.



Obr. 12: Blokový diagram řešení

K mikrokontroléru jsou připojeny jednotlivé funkční bloky. Prostřednictvím sériové komunikační sběrnice TWI je připojen obvod LM75 pro měření teploty vzduchu. K čítačům mikrokontroléru jsou připojeny obvody pro měření otáček a spotřeby paliva. K převodníku AD je připojen přes korekční zesilovač termoelektrický článek. Mikrokontrolérem zpracované údaje jsou odesílány přes rozhraní UART do bluetooth modulu a dále do kapesního počítače. Na obrázku 13 je realizovaná měřicí jednotka.



Obr. 13: Realizovaná měřicí jednotka

4.2 Funkce palubního počítače

Funkce palubního počítače lze rozdělit do tří skupin, dle zdroje vstupních informací. První skupinu tvoří funkce přímo spojené s činností spalovacího motoru. Druhá skupina funkcí je závislá na jednotce GPS. Třetí skupinou jsou funkce, které jako vstupních veličiny využívají hodnoty z předchozích dvou skupin. Soupis všech funkcí s jejich rozdělením je uveden tabulce 8.

Tab. 8: Soupis funkcí palubního počítače

funkce přímo spojené s činností spalovacího motoru	funkce přímo zprostředkované přijímačem GPS	funkce odvozené
otáčky motoru	prošlá trasa	spotřeba paliva
teplota hlavy motoru	pozemská rychlost	zbývající čas běhu motoru
aktuální průtok paliva	vertikální složka rychlosti	aktuální dolet
	výška AMSL	efektivita letu
	klouzavost	množství paliva v nádrži
	přesný čas	

5 Obvodové řešení

Základem měřicí jednotky je 8bitový riskový mikrokontrolér společnosti ATMEL ATmega 128, jehož jádro pracuje na frekvenci 5 MHz. Využitím integrovaných periférií mikrokontroléru bylo možné hardwarovou část zařízení značně zjednodušit.

Mikrokontrolér disponuje dvěma jednotkami USART (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter). Jedna z těchto dvou jednotek je využita pro výměnu informací mezi mikrokontrolérem a modulem bluetooth, který zprostředkovává komunikaci s kapesním počítačem.

Pro přenos informace o teplotě vzduchu je využito dvoudrátové sériové komunikační sběrnice TWI (Two-wire Serial Interface), která je v mikrokontroléru také integrována.

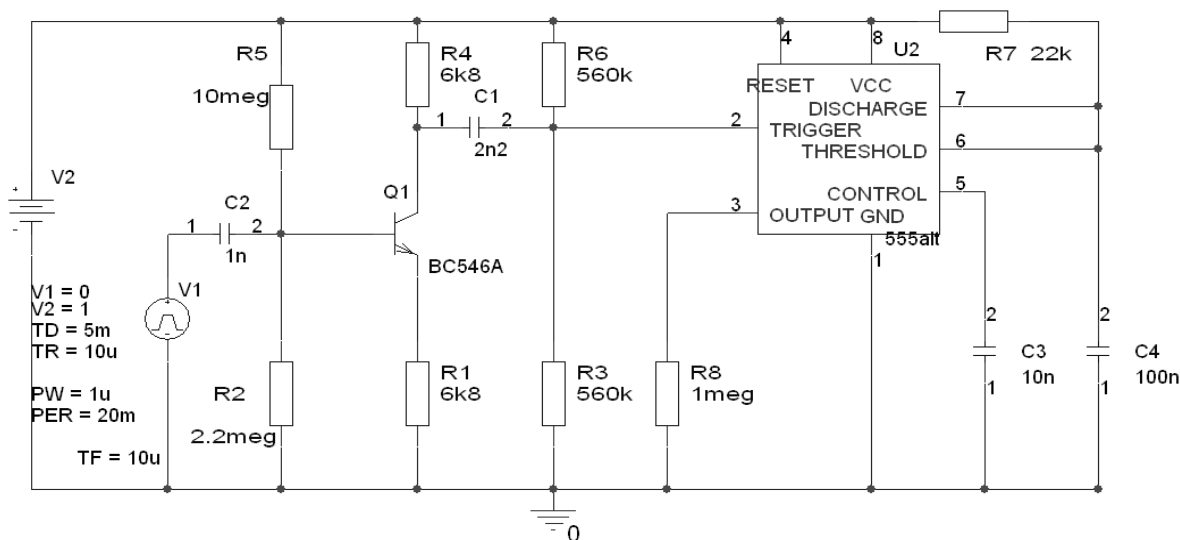
Pro měření otáček a průtoku paliva jsou využity dva 16bitové čítače mikrokontroléru, které pracují v režimu input capture.

5.1 Otáčky motoru

Jak bylo v teoretické části uvedeno (3.1), k měření otáček motoru je využito signálu, který je indukován v cínce, která je navinuta na části vysokonapěťového kabelu. Frekvence proudových pulsů ve vysokonapěťovém kabelu je úměrná otáčkám motoru.

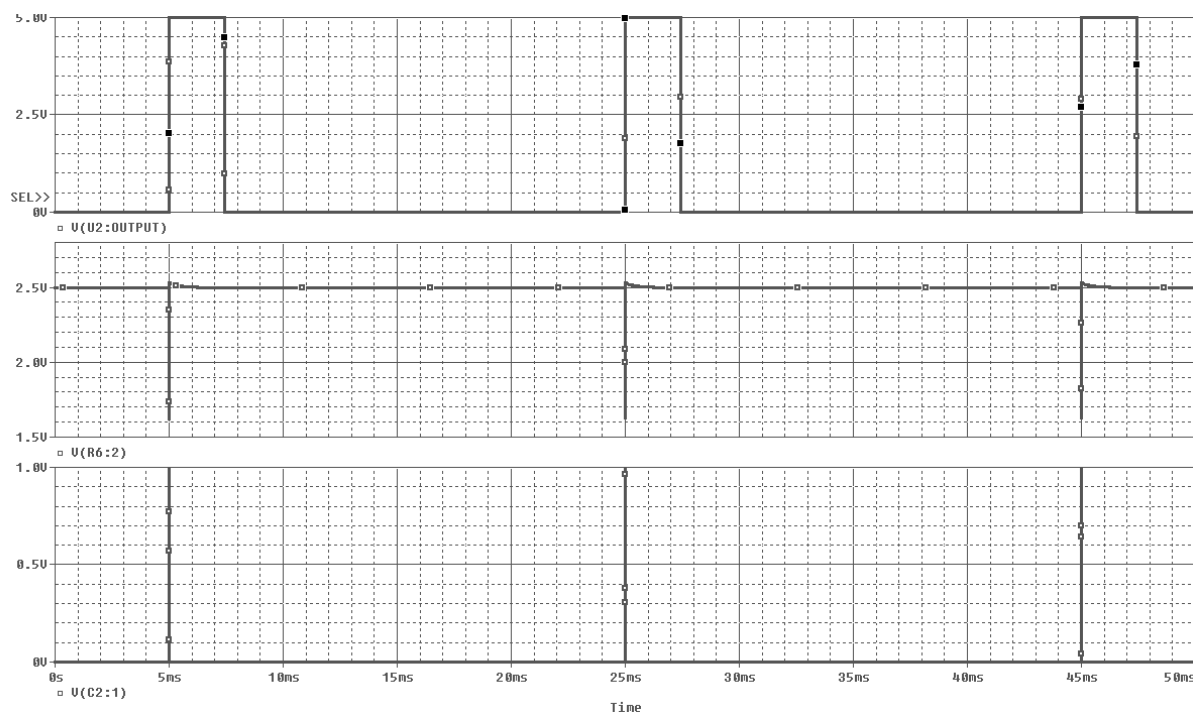
5.1.1 Obvod pro úpravu měřeného signálu

Před vlastním měřením frekvence pulsů je však nutné tento signál náležitě upravit, aby jej bylo možné digitálně zpracovat. To je zajištěno vstupním obvodem, který je nakreslen na obrázku číslo 14.



Obr. 14: Obvod pro úpravu signálu pro měření otáček motoru

Napěťové špičky, které jsou indukovány na cívce, jsou přes kondenzátor přivedeny na vstup jednostupňového zesilovače. Protože je zesilovač v zapojení se společným emitorem, dochází k otočení fáze výstupního signálu oproti vstupnímu o 180° . Přes kondenzátor $C1$, který odděluje stejnosměrnou složku, je výstup zesilovače navázán na vstup monostabilního klopného obvodu. Monostabilní klopný obvod je tvořen časovačem 555. Rezistory $R6$ a $R3$ udržují vstupní napětí v klidovém stavu na polovině napájecího napětí. Pokud je na výstupu zesilovače generován záporný puls, který způsobí pokles napětí na vstupu monostabilního klopného obvodu pod hodnotu $V_{cc}/3$ dojde na výstupu MKO k vygenerování pulsu. Šířka tohoto pulsu je dána časovou konstantou, která je rovna 1,1 násobku součinu $R7$ a $C4$. V zapojení na obrázku 11 je místo snímací cívky uveden pulzní zdroj a na výstupu monostabilního klopného obvodu rezistor $R8$, který představuje zátěž v podobě vstupu mikrokontroléru. Tyto záměny byly provedeny při simulaci v programu PSpice. Činnost celého obvodu dokumentuje obrázek 15, který je výsledkem provedené simulace.



Obr. 15: Simulace činnosti obvodu pro úpravu signálu pro měření otáček

Ve spodním okně obrázku 15 je průběh generovaný pulzním zdrojem, v prostřední části pak průběh na vstupu monostabilního klopného obvodu a ve vrchním okně jeho výstup.

5.1.2 Digitální zpracování

Výstup z monostabilního klopného obvodu je již vhodný k digitálnímu zpracování. Je tedy přiveden na vstup input capture 16bitového čítače mikrokontroléru. Hodnota volně běžícího čítače bude zvyšována s opakovací frekvencí $f_{counter}=1/T$. Pokud je zaznamenán puls měřeného signálu (jeho sestupná hrana), dojde k uložení hodnoty čítače, následně je čítač vynulován a celý proces se

opakuje. Z výše uvedeného a z obrázku 12 je patrné, že hodnota čítače je nepřímo úměrná frekvenci měřeného signálu.

Při řešení je zapotřebí stanovit minimální a maximální otáčky motoru, tím je dán interval měřených frekvencí. Protože je využíván 16bitový čítač, je třeba zvolit jeho frekvenci tak, aby při minimálních otáčkách nedošlo k přetečení čítače. Při výpočtu bylo tedy postupováno následovně:

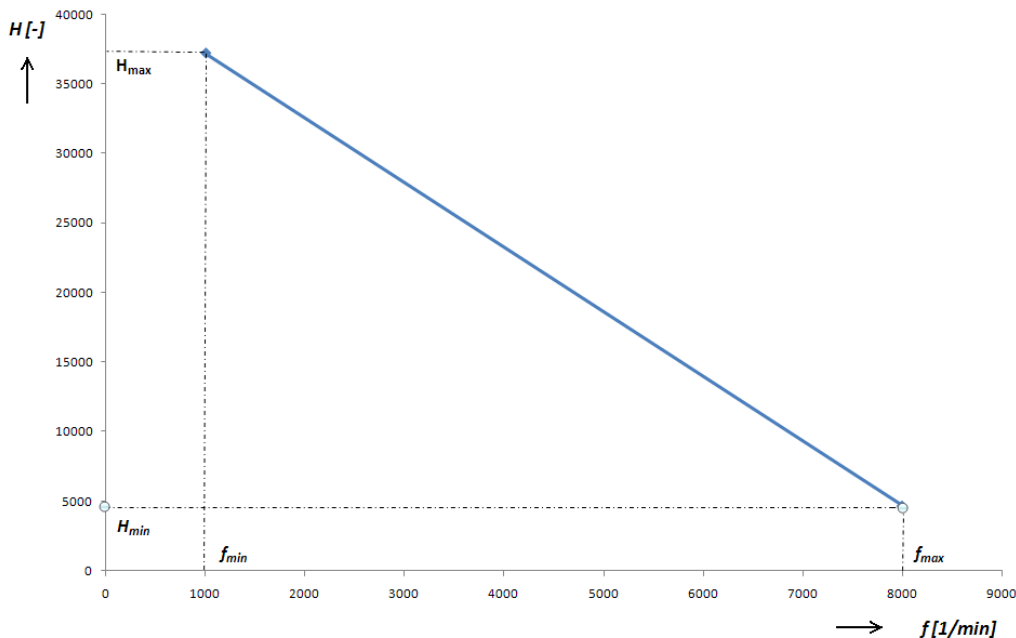
$$\text{minimální otáčky motoru: } 1000 \text{ 1/minuta} \quad \rightarrow \quad f_{\min}=16,8 \text{ Hz}$$

$$\text{maximální otáčky motoru: } 8000 \text{ 1/minuta} \quad \rightarrow \quad f_{\max}=133,3 \text{ Hz}$$

Základní frekvence čítače je dána hodinovou frekvencí mikrokontroléru (f_{OSC}). U mikrokontrolérů AVR je možnost využít předděličky s možnými děliteli (N_D) 1, 8, 64, 256 a 1024. Maximální hodnota 16bitového čítače je 65536. Hodinová frekvence mikrokontroléru je 5 MHz, při dělení osmi získáme frekvenci čítače 625kHz. Při minimálních a maximálních otáčkách bude tedy hodnota H čítače rovna:

$$H_{\max} = \frac{f_{OSC}}{N_D \cdot f_{MIN}} = \frac{5 \cdot 10^6}{8 \cdot 16,8} \doteq 37202 \quad H_{\min} = \frac{f_{OSC}}{N_D \cdot f_{MAX}} = \frac{5 \cdot 10^6}{8 \cdot 133,3} \doteq 4689 \quad (9)$$

Graficky je možno znázornit funkční závislost hodnoty čítače na frekvenci otáček obrázkem 16.



Obr. 16: Funkční závislost hodnoty čítače na otáčkách motoru

Pro výpočet konkrétních otáček byla ze soustavy rovnic (10) a (11) získána rovnice přímky (12):

$$4689 = 8000 \cdot a + b, \quad (10)$$

$$\underline{37202 = 1000 \cdot a + b}, \quad (11)$$

$$H = -4,644 \cdot f + 41847. \quad (12)$$

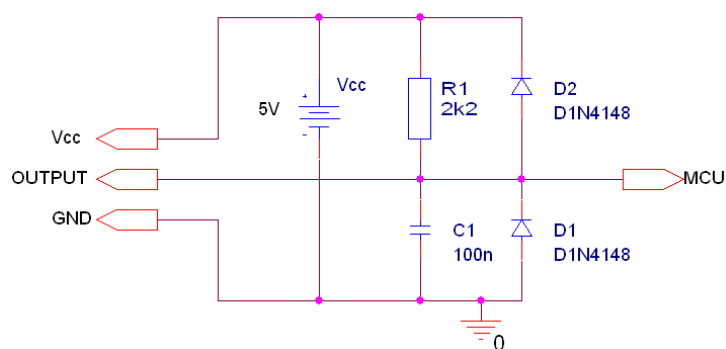
5.2 Průtokoměr

Pro měření rychlosti průtoku a množství spotřebovaného paliva je využito mikroturbínového průtokoměru s halovým snímačem. Nejprve byl testován průtokoměr s komerčním označením FCH-MINI-PP. Podle deklarovaných parametrů se jedná o průtokoměr, který je konstruován z materiálů odolávajících chemicky agresivním mediím, tedy je vhodný i pro benzín. Po několika testech však bylo zjištěno, že pokud je průtokoměr zaplněn benzínem po dobu delší několika desítek hodin, dochází k leptání vnitřního ústrojí průtokoměru a k jeho nevratnému poškození. Měřitelný interval průtoku tohoto průtokoměru je 0,015 až 0,8 l za minutu, což odpovídá 0,9 až 48 litru za hodinu. Pro dané použití by byl tento rozsah dostačující. Ovšem z důvodu nedostatečné chemické odolnosti musela být vyhledána chemicky odolnější alternativa.

Jako dostatečně chemicky odolný průtokoměr pro měření nízkých průtoků byl vybrán průtokoměr s měřitelným průtokem, který je shodný s průtokoměrem FCH-MINI-PP, ale má chemicky odolnější ústrojí.

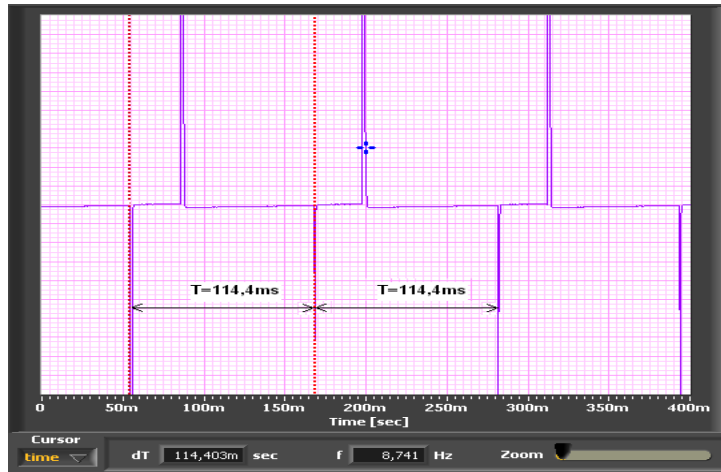
Průtokoměr má výstup typu otevřený kolektor. Na jeho výstupu jsou generovány pulsy, jejichž frekvence je úměrná rychlosti průtoku paliva a jejich počet množství paliva, které protéklo. Použitý typ průtokoměru generuje 10000 pulsů na jeden litr.

Výstupní signál z průtokoměru je ještě třeba upravit pro digitální zpracování. Jednoduchý obvod, který úpravu zajišťuje je na obrázku 17.



Obr. 17: Obvod pro úpravu pulsů průtokoměru

Na obrázku 18 je vidět výstupní průběh z korekčního obvodu průtokoměru. Perioda signálu je 114 ms, což po přepočtu odpovídá spotřebě paliva 3,1 litru za hodinu.



Obr. 18: Signál průtokoměru určený po korekci

5.2.1 Digitální zpracování

Způsob zpracování signálu je zcela analogický k měření otáček motoru, opět jde o měření frekvence signálu. Jediný rozdíl je, že u tohoto měření je zaznamenáván počet period, aby bylo možné stanovit množství spotřebovaného paliva.

Výstup z korekčního obvodu je přiveden na vstup input capture druhého 16bitového čítače mikrokontroléru. Hodnota volně běžícího čítače bude inkrementována s opakovací frekvencí $f_{counter}=1/T$. Pokud je zaznamenán puls měřeného signálu, dojde k uložení hodnoty čítače, následně je čítač vynulován a celý proces se opakuje. Z výše uvedeného a z obrázku 1 je patrné, že hodnota čítače je nepřímo úměrná frekvenci měřeného signálu.

Při řešení je zapotřebí opět stanovit minimální a maximální frekvenci signálu z průtokoměru, tím je dán interval měřených frekvencí. Protože je využíván 16bitový čítač, je třeba zvolit jeho frekvenci tak, aby při minimálním průtoku nedošlo k přetečení čítače. Při výpočtu bylo tedy postupováno následovně:

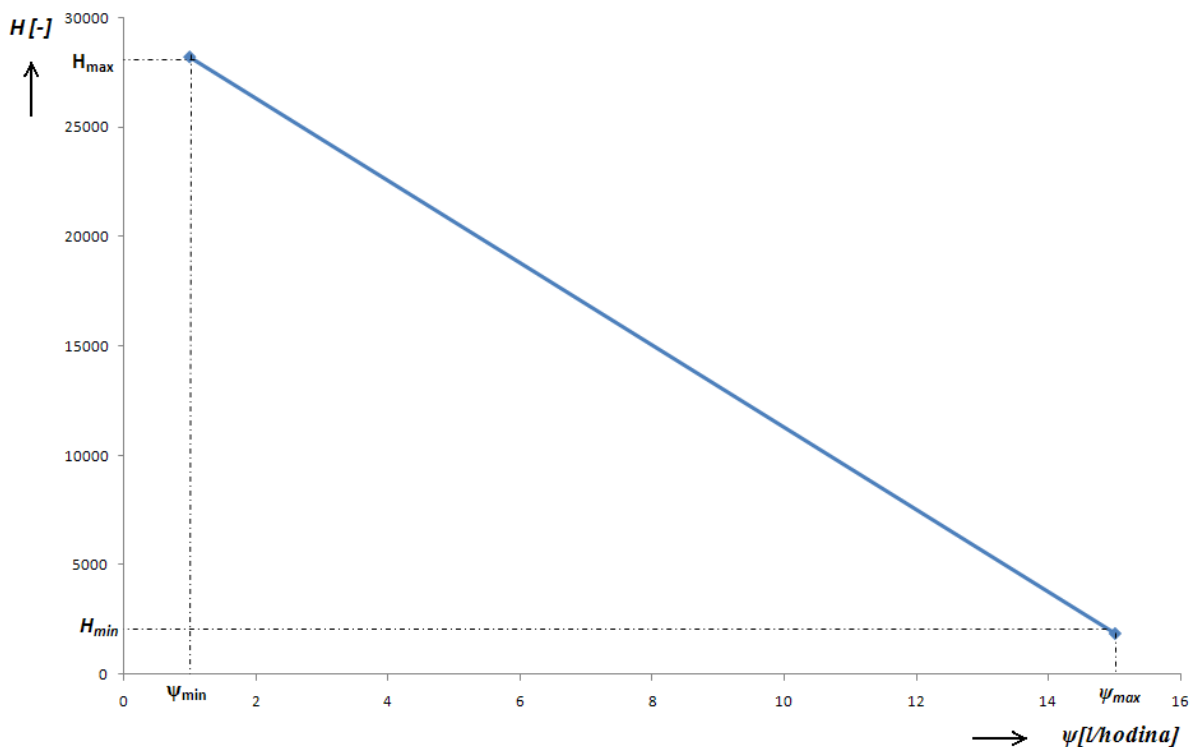
$$\text{minimální průtok paliva: } \psi_{MIN}=1 \text{ l/hodina} \quad \rightarrow \quad f_{min}=2,77 \text{ Hz,}$$

$$\text{maximální průtok paliva: } \psi_{MAX}=15 \text{ l/hodina} \quad \rightarrow \quad f_{max}=41,67 \text{ Hz.}$$

V tomto případě je využito předděličky (N_D) 64. Při minimálním a maximálním průtoku bude tedy hodnota H čítače rovna:

$$H_{\max} = \frac{f_{OSC}}{N_D \cdot f_{MIN}} = \frac{5 \cdot 10^6}{64 \cdot 2,77} \doteq 28204 \quad H_{\min} = \frac{f_{OSC}}{N_D \cdot f_{MAX}} = \frac{5 \cdot 10^6}{64 \cdot 41,7} \doteq 1875 \quad (13)$$

Graficky je možno znázornit funkční závislost hodnoty čítače na frekvenci pulsů průtokoměru obrázkem 19.



Obr. 19: Funkční závislost hodnoty čítače na rychlosti průtoku paliva

Pro výpočet hodnoty čítače byla ze soustavy rovnic (14) a (15) získána rovnice přímky (16):

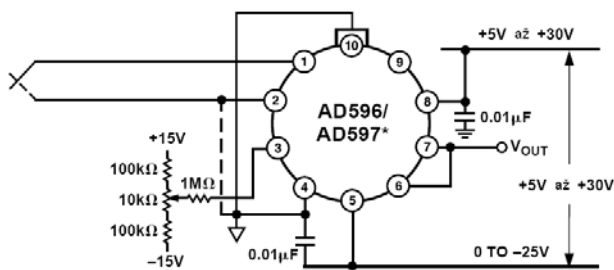
$$28204 = 1 \cdot a + b, \quad (14)$$

$$1875 = 15 \cdot a + b, \quad (15)$$

$$H = -1881 \cdot \Psi + 30085. \quad (16)$$

5.2.2 Teplota motoru

Pro měření teploty motoru je využíváno termoelektrického článku, jehož signál je zesílen a korigován. Zapojení korekčního obvodu s AD596 je na obrázku 20. Uvedené zapojení je použito v měřicí jednotce bez rezistorů, které slouží k nastavení offsetu výstupu. [5]



Obr. 20: Zapojení korekčního zesilovače termočlánku

5.3 Teplota vzduchu

Pro měření teploty vzduchu je využit inteligentní senzoru LM 75 společnosti National Semiconductors, informace o tomto obvodu a popis jeho činnosti jsou uvedeny v kapitole 3.3. Obvod je vybaven sériovým rozhraním TWI. Naměřená teplota je na sběrnici vysílána ve dvou bajtech. Protože přesnost měření je ± 2 °C a MSB v druhém bajtu odpovídá 0,5 °C, není druhý bajt měřicí jednotkou využíván. [6]

5.4 Bluetooth

Na trhu je v dnešní době k dispozici celá řada průmyslových modulů bluetooth. Mezi významnější můžeme jmenovat moduly společnosti Bluegiga s označením WT11 a WT12, dále společnost Connectblue OEMSPA333. Většina výrobců má ve své nabídce také hybridní moduly, které jsou osazeny technologií bluetooth společně s WiFi.

Při výběru modulu vhodného pro měřicí jednotku byl brán zřetel zejména na cenu, přítomnost SPP profilu a snadnost implementace modulu do měřicí jednotky.

Moduly společnosti Connectblue se vyznačují značně jednoduchou propojitelností s cílovou aplikací. K aplikaci je možné modul připojit prostřednictvím pinové lišty 2x10 pinů s roztečí 2 mm, nebo prostřednictvím speciálního layoutu na spodní straně DPS, který dosedá při montáži modulu do aplikace na pérový konektor. Tyto dvě alternativy jsou, co do signálového propojení, zcela ekvivalentní a záleží tak pouze na konstruktérovi jakou možnost si vybere. Značnou nevýhodou modulů Connectblue je jejich vysoká cena. [7]

Výrobce Bluegiga má na trhu kompaktní moduly WT11 a WT12. Tyto moduly jsou v cílové aplikaci pevně osazeny. Nevýhodou těchto modulů jsou náročné požadavky na DPS, na kterou jsou instalovány. Výrobce v dokumentaci varuje před montáží na jednovrstvou DPS, také montáž na dvouvrstvou DPS je označována jako problematická. Jako vhodnou označuje výrobce montáž na vícevrstvou DPS, kde pod signálovou vrstvou musí být zemnicí vrstva. Pro testovací účely se tak nejeví tyto moduly, i přes jejich nízkou cenu, jako vhodné. [8]

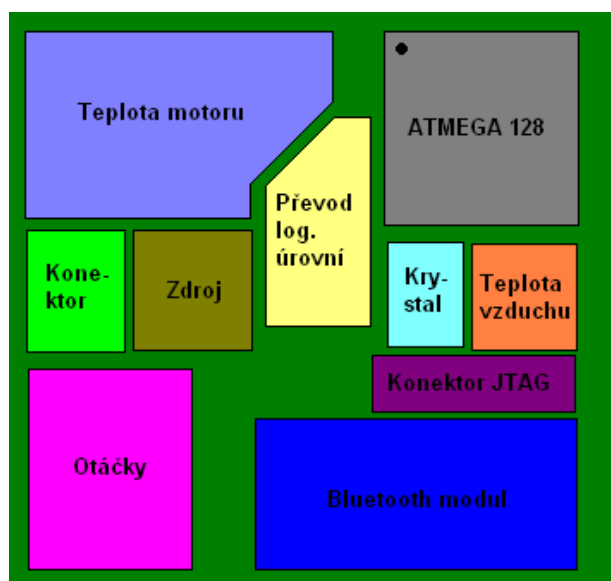
V konečné fázi výběru bluetooth modulu pro měřicí jednotku byl získán prototyp modulu BTMODUL106 , který je pinově softwarově a rozměrově kompatibilní s moduly společnosti Connectblue. Modul byl zkonstruován Ing. Petrem Zítkem jako prototyp pro testovací účely. Tento modul byl zvolen s ohledem na jeho cenovou dostupnost. Popis tohoto modulu je uveden v kapitole

5.5 . Deska plošných spojů

Všechny elektronické součástky a konstrukční prvky jsou mechanicky připevněny a elektricky pospojovány na desce plošných spojů (DPS).

Rozmístění jednotlivých funkčních bloků na DPS bylo prováděno s ohledem na možné elektromagnetické rušení. Mikrokontrolér, jako potenciální zdroj rušení, byl umístěn do pravého

horního rohu DPS. Dalším možným zdrojem rušení by mohl být modul bluetooth a jeho RF část. Modul je však na vlastním substrátu a k DPS měřicí jednotky je připojen pomocí pinové lišty. Tím by měl být jeho rušivý vliv na okolní bloky omezen. Pravděpodobně nejcitlivější část z hlediska rušení je obvod AD596, který zesiluje analogový signál o nízké úrovni, který je generován termoelektrickým článkem. Zde muselo dojít ke kompromisu mezi vzdáleností obvodu AD596 od konektoru pro termočlánek a délkou vedení ke vstupu mikrokontroléru. Zdrojová část tvořená stabilizátorem napětí je umístěna ve střední části DPS z důvodu snadného rozvodu napájení po celé DPS. Obvod měření otáček je umístěn v levém dolním rohu DPS. Rozložení jednotlivých bloků na DPS je na obrázku 22. Fotografie osazené DPS měřicí jednotky je pak na obrázku 21.



Obr. 21: Rozložení funkčních bloků na DPS



Obr. 22: Osazená DPS měřicí jednotky

Jedná se o polyesterovou krabičku o rozměrech 90 x 76 x 42 mm.

6 Programové vybavení

Programové vybavení palubního počítače můžeme rozdělit na dvě části. První část tvoří program pro mikrokontrolér, který řídí činnost měřicí jednotky. Ten zpracovává signály generované senzory a řídí odesílání informací o stavu a činnosti motoru do kapesního počítače. Druhou částí je program PPGCOMP, který má za úkol přijímat data z měřicí jednotky a z modulu GPS. Tato data pak dále ve vzájemné kombinaci zpracovává a zobrazuje uživateli. Dále umožňuje veškerá data zaznamenávat do souboru pro jejich další zpracování.

6.1 Program mikrokontroléru [4]

Program pro mikrokontrolér je napsán v jazyce C. Zdrojový kód je rozdělen do několika souborů podle dílčích funkcí programu.

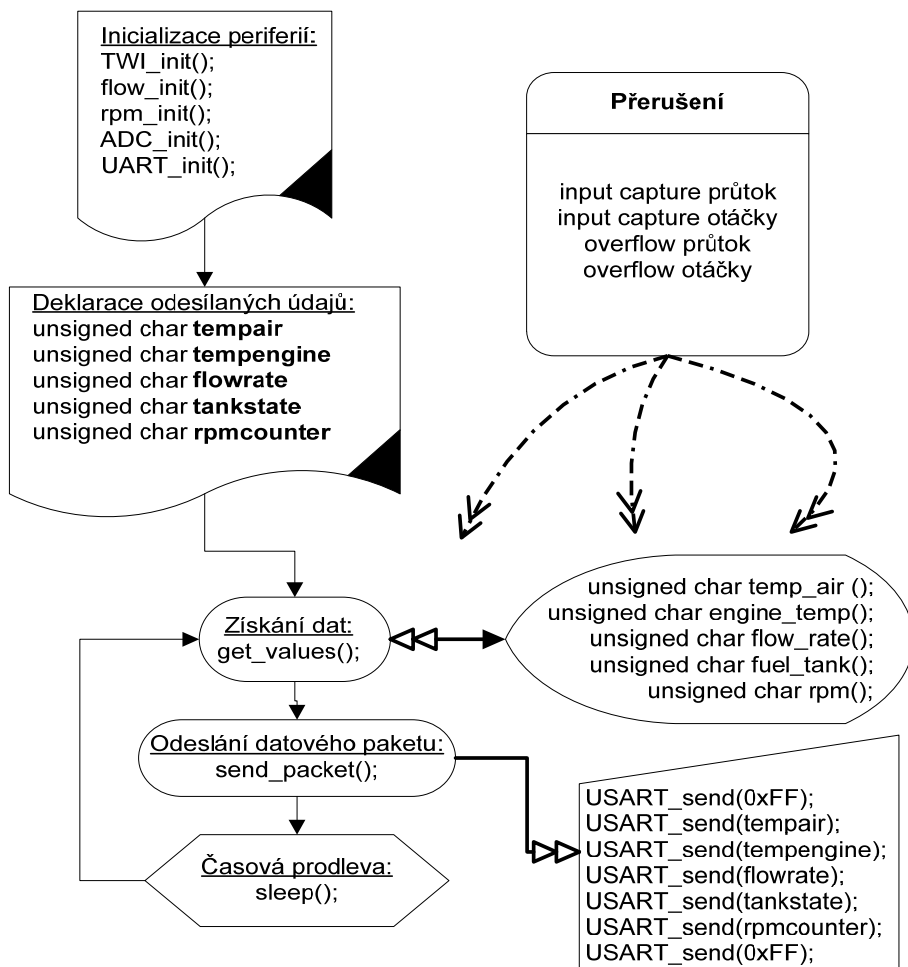
6.1.1 Funkce main

Vlastní běh programu začíná inicializací periférií mikrokontroléru, kterých je v aplikaci využíváno. Následuje deklarování základních globálních proměnných. Tyto proměnné reprezentují data, která podávají informace o stavu a činnosti spalovacího motoru a jsou dále odesílána do kapesního počítače. Jejich soupis je uveden v tabulce 9.

Tab. 9: Deklarace základních globálních proměnných

identifikátor	datový typ	Informace
tempair	unsigned char	teplota vzduchu
tempengine	unsigned char	teplota hlavy motoru
flowrate	unsigned char	průtok paliva
tankstate	unsigned char	množství spotřebovaného paliva
rpmcounter	unsigned char	otáčky motoru

Po deklarování proměnných přejde běh programu do nekonečné smyčky. V první fázi jsou volány funkce, které vrací hodnoty pro základní globální proměnné. Popis jednotlivých funkcí bude následovat v dalších částech, které se budou věnovat dílčím blokům. Následně jsou získané informace, které jsou uloženy v globálních proměnných odeslány prostřednictvím UARTu do modulu bluetooth, odkud jsou odeslány do kapesního počítače. Po odeslání všech informací přechází mikrokontrolér na určitou dobu do úsporného režimu. Po vyvolání mikrokontroléru z úsporného režimu časovačem přechází běh programu opět na začátek nekonečné smyčky, kde jsou znovu volány funkce pro aktualizaci globálních proměnných a celý cyklus se opakuje. Vývojový diagram funkce *main* je nakreslen na obrázku 24.



Obr. 24: Vývojový diagram funkce *main*

6.1.2 Komunikační protokol

Data z měřicí jednotky jsou odesílána do kapesního počítače v datových rámcích. Jeden datový rámec obsahuje sedm bajtů. První a poslední bajt rámce má vždy hodnotu 0xFF. Těmito dvěma bajty je označen začátek a konec rámce. Za startovním bajtem následuje pět bajtů, z nichž každý nese informaci o jedné měřené veličině. Struktura datového rámce je na obrázku 25.

0xFF	AT	ET	FR	FS	RPM	0xFF
------	----	----	----	----	-----	------

1. 0xFF **START bajt**
2. AT **teplota vzduchu**
3. ET **teplota motoru**
4. FR **průtok paliva**
5. FS **stav nádrže**
6. RPM **otáčky motoru**
7. 0xFF **END bajt**

Obr. 25: Datový rámec odesílaný měřicí jednotkou

Aby mohl být datový rámeček správně detekován, nesmí žádný z pěti informačních bajtů nabývat hodnoty 0xFF. Dále je u každého informačního bajtu rezervována hodnota 0xFE, která signalizuje chybový stav. Této hodnoty je využíváno pro upozornění přijímací strany na nekorektně naměřenou hodnotu, například pokud není hodnota v požadovaném rozsahu. Každá naměřená veličina musí být tedy zakódována v rozsahu 0x00 až 0xFD. Přesnost údajů, které lze z hlediska komunikačního protokolu dosáhnout, je uvedena v tabulce 9. Datový rámeček je odeslán jednou za sekundu. Tento interval aktualizace byl zvolen s ohledem na přijímač GPS. Jednomu souboru dat z GPS tak odpovídá jeden datový rámeček z měřicí jednotky.

Tab. 9: Maximální přesnost zobrazovaných údajů z hlediska komunikačního protokolu

veličina	rozsah měření	maximální přesnost zobrazení
teplota vzduchu	-127 až +125°C	1°C
teplota motoru	0 až +253 °C	1°C
průtok paliva	1 až 15 l / hodina	0,055 l/hodina
stav nádrže	0 až 25,3 ml	1 ml
otáčky motoru	1000 až 7000 1/minuta	28 1/minuta

6.1.3 Průtok paliva

Pro měření průtoku a množství spotřebovaného paliva je využito 16bitového čítače, který pracuje v režimu input capture. Signál z průtokoměru, jehož frekvenci měříme, je přiveden na vstup ICP3 mikrokontroléru. Příchodem náběžné hrany dochází k vyvolání přerušení. Obslužná funkce přerušení zaznamená počet načítaných vzorků čítačem a inkrementuje proměnnou, která nese informaci o množství spotřebovaného paliva. V závěru je ještě vynulován čítač. Následně je běh programu předán do místa, kde skončil před vyvoláním přerušení, tedy před příchodem náběžné hrany.

Vlastní výpočet průtoku paliva řeší funkce *flow_rate*. Součet všech hodnot čítače od posledního volání funkce je vydělen počtem period signálu z průtokoměru. Tím získáme průměrnou hodnotu čítače, potažmo průměrný průtok paliva, za dobu od posledního vyvolání funkce *flow_rate* do současnosti. Součet hodnot čítače v jednotlivých cyklech (mezi dvěma náběžnými hranami na ICP3) je zajištěn obslužnou rutinou přerušení. Funkce dále kontroluje dodržení rozsahu měření. Pokud je průměrná hodnota čítače mimo stanovený rozsah, je odeslána chybová hodnota, která je stanovena na 0xFE. Tím je zajištěna indikace nefunkčního průtokoměru. Takto získaná průměrná hodnota je proporcionálně upravena do velikosti jednoho bajtu a odeslána.

Množství paliva, které proteklo, je úměrné počtu period signálu průtokoměru. Pro použitý průtokoměr odpovídá 10 period tohoto signálu 1 ml paliva. Příchodem náběžné hrany je

inkrementována hodnota proměnné, která nese informaci o množství spotřebovaného paliva. Tuto funkci plní obslužná rutina přerušení. Funkce *tankstate* pak vrátí hodnotu, která odpovídá množství spotřebovaného paliva od doby posledního volání této funkce a následně je vynulována.

Před prvním vyvoláním funkce *flow_rate* a funkce *tankstate* je nutné inicializovat čítač. Inicializace je provedena zápisem do registrů TCCR3B a ETIMSK. Význam jednotlivých bitů registrů a jejich nastavení je uveden v tabulce 10 a 11.

Tab. 10: Popis registru TCCR3B

bit	nastavení	Funkce
ICNC3	1	vstupní filtr pro vstup ICP3 (1-aktivní, 0-neaktivní)
ICES3	1	výběr hrany (1 – náběžná, 0 – sestupná)
-	x	-
WGM33	0	volba režimu čítače (normal, PWM, FPWM)
WGM32	0	
CS32	1	nastavení předděličky na dělicí poměr 1/64
CS31	0	
CS30	0	

Tab. 11: Popis registru ETIMSK

bit	nastavení	Funkce
-	x	-
-	x	-
TICIE3	1	povolení přerušení input capture
OCIE3A	0	povolení přerušení output compare match (hodnota A)
OCIE3B	0	povolení přerušení output compare match (hodnota B)
TOIE3	1	povolení přerušení při přetečení čítače
OCIE3C	0	povolení přerušení output compare match (hodnota C)
OCIE1C	0	povolení přerušení output compare match (hodnota C, čítač 1)

6.1.4 Otáčky motoru

Otáčky motoru jsou měřeny obdobným způsobem, jak tomu je u měření průtoku. Princip měření je uveden v kapitole 3.1. Je využito 16bitového čítače/časovače¹, který opět pracuje v režimu input capture.

Příchodem náběžné hrany na vstup ICP1 je vyvolána obslužná funkce přerušení, která přičte hodnotu čítače do proměnné, kde jsou akumulovány hodnoty čítače z předchozích cyklů. Dále je inkrementována proměnná, v které je uložen počet vyvolání tohoto přerušení

Funkce *rpm* vrací podíl nasčítaných hodnot z čítače a počtu vyvolání přerušení. Tím získáme průměrnou hodnotu čítače, které odpovídají podle grafu na obrázku 13 otáčky motoru. Získaná

hodnota je přepočtena do jednoho bajtu a odeslána. V tomto bajtu je rezervována hodnota 0xFF, která značí začátek nebo konec datového rámce a hodnota 0xFE, která značí chybu při měření otáček.

Inicializace čítače je provedena zápisem do registrů TCCR1B a TIMSK. Hodnota těchto registrů je obdobná jako v případě čítače použitého u průtokoměru.

6.1.5 Teplota motoru [5]

Údaj o teplotě motoru je získán z výstupního napětí obvodu AD596, které je přivedeno na vstup převodníku AD mikrokontroléru. Pro činnost převodníku AD je využito integrované napěťové reference 2,56 V.

Pro inicializaci převodníku AD je nutné nastavit bit ADEN v registru ADCSRA. Tím dojde k jeho aktivaci. Dále je nutné zvolit kanál, napěťovou referenci a hodinový kmitočet, který je možné odvodit od kmitočtu jádra mikrokontroléru. Napěťová reference a kanál se nastavují v registru ADMUX. V našem případě bude mít tento registr hodnotu 0xC0 (ADC0 a interní napěťová reference). Hodinový signál převodníku je definován třemi nejméně významnými bity v registru ADCSRA. Jde o předděličku hodinového kmitočtu jádra mikrokontroléru. Pro dělení 128 musí být všechny tři bity nastaveny.

Ve funkci *engine_temp* je proveden vlastní převod a je vrácen bajt s výslednou hodnotou. Převod se spouští zápisem do bitu ADSC v registru ADSRA. Převodník AD je 10bitový, výsledek převodu je ukládán do registrů ADCH a ADCL. Ukončení převodu je signalizováno smazáním bitu ADSC v registru ADCSRA. Daná aplikace využívá pouze 8 významnějších bitů, proto je výsledek převodu čten pouze z registru ADCH.

Převod trvá 13 period hodinového signálu pro standardní převod a 25 period pro první převod (po zapnutí převodníku AD bitem ADEN v registru ADCSRA). Čas potřebný pro normální převod při 5 MHz kmitočtu jádra mikrokontroléru a jeho dělením můžeme vypočítat podle rovnice (17).

$$t_c = \frac{D}{f_{CPU}} \cdot N = \frac{128}{5 \cdot 10^6} \cdot 13 = 0,33ms \quad (17)$$

kde D je hodnota předděličky, f_{CPU} kmitočet jádra mikrokontroléru a N je počet period nutných k převodu.

Hodnota bajtu vráceného funkcí *engine_temp* tak odpovídá teplotě motoru ve stupních celsia, respektive vstupnímu napětí v desítkách milivoltů ($1^\circ\text{C} \sim 10\text{ mV}$).

6.1.6 Teplota vzduchu

Informace o teplotě vzduchu je poskytována obvodem LM75 prostřednictvím sériové komunikační sběrnice TWI. Formát dat posílaných z teplotního senzoru je uveden v kapitole 3.3.

Inicializace sběrnice je provedena zápisem do registrů TWSR a TWBR. Registr TWSR obsahuje dva bity, pro nastavení předděličky kmitočtu a pět bitů, které signalizují současný stav sběrnice. V registru TWBR je uložena hodnota, kterou je definován bitrate TWI, v případě že je mikrokontrolér režimu master.

Funkce *air_temp*, nejprve odešle na sběrnici TWI bajt s adresou teplotního senzoru, čímž dojde k jeho oslovení. V tomto případě je to 0x91. Následně tato funkce vrací bajt s informací o teplotě vzduchu, který byl na sběrnici vložen teplotním senzorem.

Pokud je obvod využíván pouze tímto způsobem, není nutné před každým čtením teploty nastavovat registr, ze kterého bude čtení prováděno. Tím se tato komunikace značně zjednoduší.

6.2 Aplikace pro kapesní počítač [1]

Pro kapesní počítač byla vyvinuta aplikace, která je schopna přijmout, zobrazit a zaznamenat data z měřicí jednotky a z přijímače GPS. Aplikace je vytvořena v objektově orientovaném programovacím jazyku C# pro prostředí Microsoft Framework 2.0 a operační systém Microsoft Windows Mobile 5.

Pro zpracování údajů z přijímače GPS je v aplikaci využito API (Application Programming Interface). Zde jsou děleny věty NMEA. Z rozdělených vět jsou získány údaje, které vytváří instanci třídy *GpsPosition*.

6.2.1 Základní běh aplikace

Spuštěním aplikace dojde k vytvoření instance třídy *MainForm* společně s inicializací všech jejích komponent. Další běh programu je řízen událostí *LocationChanged*, která volá metodu *zmena_pozice*. Událost předává metodě argument *Position* typu *GpsPosition*, který nese informace získané z aktuální sady NMEA, vše je uloženo v proměnné *AktualniPozice*. Nejprve je zde testováno, zda je přijímaný signál dostatečný alespoň pro určení pozice. To je realizováno podmínkou čtyř a více přijímaných satelitů. Pokud je podmínka splněna, dojde k aktivaci čítače *SberDat*, v opačném případě dojde k deaktivaci tohoto čítače.

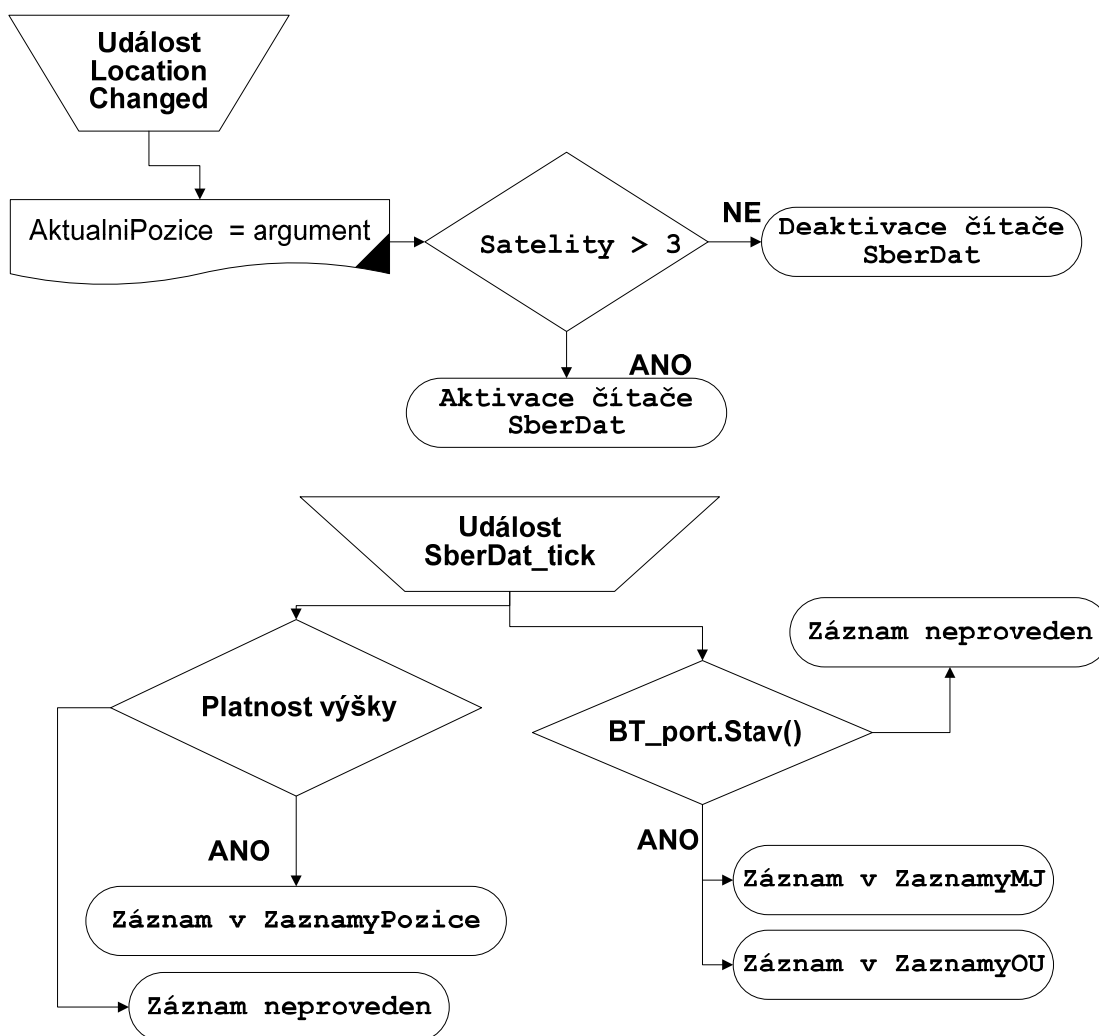
Ve třídě *GpsPosition* jsou mimo jiné definovány datové složky, které nesou příznaky o platnosti jednotlivých informací z NMEA. Toho je využíváno v dílčích částech zpracování dat právě pro ověřování jejich platnosti.

Perioda čítače *SberDat* je nastavena 1000 ms. Pokud je čítač aktivní, každou sekundu dojde k vytvoření záznamu (zápisu do příslušného prvku) ve třech polích, do kterých jsou data ukládána.

Popis těchto polí je v kapitole 6.2.2. Zápis do pole *ZaznamyPozice* je podmíněn splněním podmínky platnosti *LatitudeValid* v instanci *AktualniPozice*. Dále Zápis do polí *ZaznamyMJ* a *ZaznamyOU* je podmíněn funkčním stavem portu, ke kterému je připojena měřicí jednotka. Zápisem do jednotlivých polí dojde k vytvoření instancí tříd *DatovaSadaMJ*, *DatovaSadaOU*, tím tedy k volání odpovídajících konstruktorů. Do pole *ZaznamyPozice* jsou údaje předány přímo z *AktualniPozice*.

Činnost aplikace je tak závislá zejména kvalitě přijímaného signálu GPS a tím na aktivaci čítače *SberDat*. Každou vteřinu je tak vytvořen záznam všech údajů a to přímo nebo až po jejich výpočtu. Běh programu je ilustrován na obrázku 26.

V případě aktivace záznamu dochází k fyzickému záznamu dat do textového souboru, což je řízeno abstraktní třídou *ZaznamDat*.



Obr. 26: Vývojový diagram základní činnosti aplikace

6.2.2 Zpracování dat

Data jsou při zpracování organizována ve třech polích, každé pole má 3600 prvků. Pole *ZaznamyPozice* je tvořeno instancemi třídy *GpsPosition*, která je definována v GPS API. Druhé pole je tvořeno instancemi třídy *DatovaSadaMJ* a jsou zde ukládány informace přijaté z měřicí jednotky. Odvozené údaje z předchozích dvou polí, jsou ukládány v poli *ZaznamyOU*. V tabulce 12 je uveden soupis údajů, které jsou v jednotlivých polích obsaženy.

Tab. 12: Soupis zaznamenávaných údajů

pole	ZaznamyMJ	ZaznamyPozice	ZaznamyOU
třída	DatovasadaMJ	GpsPosition	OdvozeneUdaje
zdroj	měřicí jednotka	GPS přijímač	DatovaSadaMJ GpsPosition
údaj	otáčky motoru	zeměpisná šířka	průměrná rychlost
	stav nádrže	zeměpisná délka	Předpokládaný dolet
	teplota motoru	čas a datum	vertikální rychlost
	teplota vzduchu	nadmořská výška	prošlá trasa
	průtok paliva	pozemská rychlost	doba provozu
			klouzavost

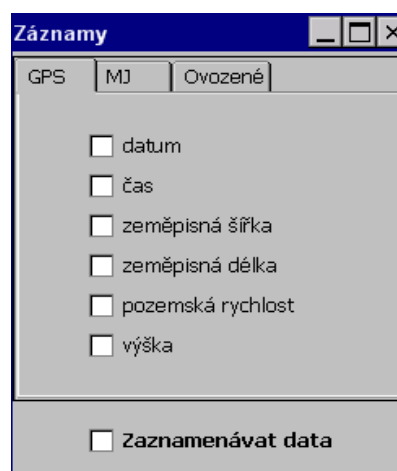
6.2.3 Ovládání aplikace

Vzhled a ovládání aplikace jsou navrženy tak, aby bylo ovládání co nejvíce intuitivní a jednoduché. Celá aplikace využívá pouze dvou formulářů. Jeden slouží k zobrazení všech měřených údajů a druhý k nastavení záznamu dat.

Na obrázku 27 je základní formulář, který se spustí po startu aplikace. Zde se zobrazují informace, které jsou měřicím systémem získávány.



Obr. 27: Hlavní formulář aplikace



Obr. 28: Formulář pro záznam údajů

Nastavení záznamu jednotlivých veličin je možné měnit ve formuláři, který se spustí volbou v hlavní nabídce aplikace. Formulář obsahuje komponentu násobné karty, do kterých jsou rozděleny údaje podle svého druhu, tedy údaje GPS, údaje měřicí jednotky a údaje odvozené. Tento formulář je na obrázku 28

7 Přesnost měření

Přesnost naměřených a vypočtených údajů je dána přesností jednotlivých funkčních bloků a parametry komunikačního protokolu. V případě odvozených funkcí se přesnost údajů snižuje a výsledná chyba je dána součinem chyb, s kterými byla hodnota vypočtena. V tabulce 13 je uvedeno s jakou teoretickou přesností jsou získávány údaje spojené s činností pohonné jednotky.

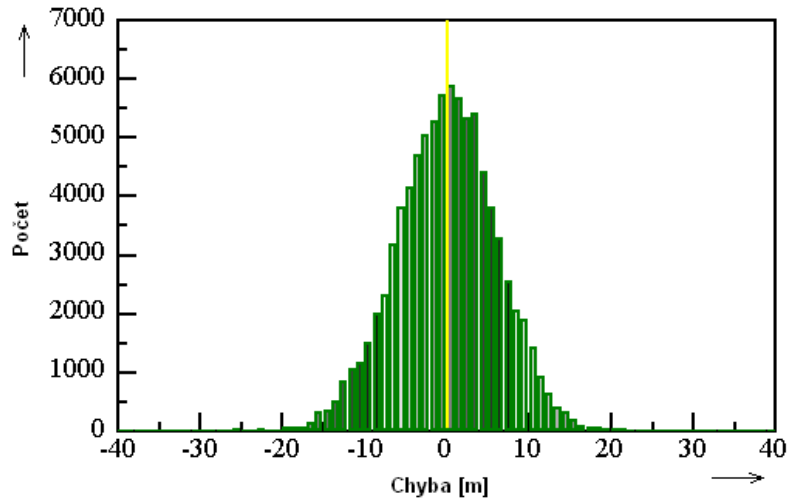
Tab. 13: Teoretická přesnost měření údajů spojených s činností motoru

měřená veličina	jednotka	rozsah	přesnost
teplota motoru	°C	0 – 200	±4 °C
průtok paliva	l/hodina	1 – 7	0,1
množství spotřebovaného paliva	l	0 - 20	0,08
otáčky motoru	1/minuta	1000 - 7000	30

Při měření teploty motoru je přesnost limitována obvodem AD596, který zesiluje signál z termoelektrického článku. V případě měření průtoku paliva je přesnost závislá na jeho velikosti. Při malých hodnotách průtoku je chyba měření vyšší, což je způsobeno třecími silami v ústrojí průtokoměru. Při měření otáček motoru je limitujícím faktorem komunikační protokol. V datovém rámci je pro údaj o otáčkách motoru vyhrazen jeden bajt. Hodnoty 0xFF a 0xFE jsou rezervovány pro nestandardní situace, tím je možnost zakódování hodnoty otáček motoru omezena na 253 úrovní. Pro daný rozsah by tedy maximální přesnost respektive rozlišení zobrazované veličiny bylo 23,7 1/minuta.

Problematické je stanovit přesnost údajů, které jsou buď přímo zprostředkovány polohovacím systémem GPS, nebo je pro jejich stanovení použito údajů z tohoto systému. Problém spočívá v proměnné přesnosti, která je závislá na kvalitě přijímaného signálu, respektive na počtu satelitů, z kterých je signál přijímán.

U polohovacího systému GPS je rozlišována přesnost polohy vertikální a horizontální. Obecně je horizontální přesnost vyšší než přesnost vertikální. Vertikální přesnost může být ilustrována obrázkem 29, kde je uveden výsledek experimentu, který provedl David L. Wilson. Na obrázku je uveden histogram z měření AMSL (Above Mean Sea Level) výšky v průběhu 48 hodin, aktualizace byla prováděna každé dvě sekundy. Střední hodnota chyby byla stanovena na 6 m. [3]



Obr. 29: Histogram měření nadmořské výšky přijímačem GPS

Z výše uvedeného plyne, že údaje, v jejichž výpočtu je obsažena výška či vertikální složka rychlosti, mají v této aplikaci spíše informativní charakter a jejich přesnost je značně proměnlivá. Možným řešením by bylo doplnit měřicí jednotku o senzor tlaku, který by měřil atmosférický tlak, jenž by byl převeden na aktuální výšku. Tohoto způsobu měření výšky se využívá v konvenčních variometrech a sdužených přístrojích. Jako senzor by zde bylo možné využít MPX4115 společnosti Motorola.

V návaznosti na této práci bude provedeno praktické testování zkonstruovaného zařízení a jeho přesnosti. Jako referenční přístroje pro měření výšky a vertikální složky rychlosti bude využito přístroje Brauniger Competino. Pro kontrolu přesnosti měření spotřebovaného paliva a průměrné spotřeby paliva bude využito následujícího postupu. Do prázdné palivové nádrže bude doplněno známé množství paliva. Otáčky motoru budou stabilizovány na konstantní hodnotu, při stabilním zatížení (závislé na typu a náběžném úhlu vrtule). Tímto bude zajištěna konstantní spotřeba paliva, která by měla být úměrná celkovému času běhu motoru. V průběhu testu bude měřen čas, od startu motoru do vyprázdnění nádrže a zhasnutí motoru. Množství spotřebovaného paliva by mělo být v ideálním případě shodné s množstvím, které bylo do palivové nádrže doplněno před zahájením testu.

8 Závěr

Na základě požadavků, které byly stanoveny v zadání diplomové práce, bylo navržen a zrealizován palubní počítač pro vyhodnocování stavu a funkčních parametrů spalovacího motoru. Byla vyvinuta měřicí jednotka, navržen komunikační protokol a vyvinuta aplikace pro kapesní počítač. Řešení bylo uzpůsobeno pro využití palubního počítače u spalovacích motorů, kterých je využíváno jako pohonných jednotek v motorovém paraglidingu.

Všechny výtčené cíle a zadání byly beze zbytku splněny. Navržené zařízení je schopno měřit a zaznamenávat všechny veličiny, které byly stanoveny zadáním. Při návrhu bylo dbáno na obvodovou jednoduchost a celkovou kompaktnost hotového zařízení. Z dosavadního krátkodobého testování se zdá, že činnost zařízení je bezchybná a komunikace mezi aplikací v kapesním počítači a měřicí jednotkou je stabilní.

Přesnost většiny měřených a vypočtených veličin je dostatečná z pohledu požadavků pilota padákového kluzáku na zařízení tohoto typu. Nejvyšší nepřesnosti dosahují veličiny, které jsou závislé na údajích nadmořské výšky, kterou zprostředkovává přijímač GPS. Jako možné řešení tohoto nedostatku by bylo využít senzoru, který měří atmosférický tlak a na základě této hodnoty stanovit nadmořskou výšku. Následně by byl údaj z přijímače GPS korigován a zpřesněn údajem z tlakového senzoru. Tímto způsobem by bylo možné zpřesnit měření až pod půl metru výšky.

V potenciální další verzi zařízení by tedy bylo vhodné, jak je výše uvedeno, senzoru pro měření atmosférického tlaku. Dále by bylo vhodné upravit aplikaci pro kapesní počítač, tak aby naměřené a vypočtené údaje bylo možné zobrazit vizuálně, tedy v grafech či na stupnicích. Pozornost by měla být věnována také měření teploty hlavy motoru a to z důvodu ekonomické nevýhodnosti současného řešení. V úvahu přichází platinové čidlo, u kterého je ovšem náročnější jeho mechanické uchycení na hlavu motoru s ohledem na dokonalost přenosu tepla na rozhraní hlava motoru – čidlo teplotního senzoru.

Konkrétním výstupem této práce je tedy funkční měřicí systém, který je zrealizován a všechny jeho dílčí funkce, které byly testovány, jsou plně funkční.

9 Použitá literatura

- [1] SHARP, J. *Microsoft Visual C# 2005 Krok za krokem*. Brno: Computer Press, a.s. 2006. ISBN 80-251-1156-3
- [2] MATOUŠEK, D. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR*. Praha: BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4.
- [3] WILSON, D., *Vertical GPS accuracy* [cit. 2004-10-05]. Dostupné z WWW: <http://users.erols.com/dlwilson/gpsvert.htm>
- [4] www.atmel.com, www stránky společnosti ATMEL
- [5] www.analog.com, www stránky společnosti ANALOG DEVICE
- [6] www.national.com, www stránky společnosti NATIONAL SEMICONDUCTORS
- [7] www.connectblue.com, www stránky společnosti CONNECTBLUE
- [8] www.bluegiga.com, www stránky společnosti Bluegiga
- [9] www.bluetooth.com, www stránky zabývající se technologií bluetooth
- [10] SMEJKAL, J., *Vše o GPS* [cit. 2007-30-11]. Dostupné z WWW: <http://vseohw.net/clanky/software/gps>
- [11] *Excel formula to calculate distance between 2 latitude, longitude (lat/lon) points (GPS positions)* [cit. 2006-07-01] Dostupné z WWW: <http://bluemm.blogspot.com/2007/01/excel-formula-to-calculate-distance.html>
- [12] <http://rs232.hw.cz/>, www stránky zabývající se komunikačním rozhraním RS232