

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

**ELEKTRONICKÁ MONITOROVACÍ JEDNOTKA
SPALOVACÍHO MOTORU**

Michal Florián

Bakalářská práce

2020

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2019/2020

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

Jméno a příjmení: **Michal Florián**
Osobní číslo: **I17297**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Téma práce: **Elektronická monitorovací jednotka spalovacího motoru**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a realizace konstrukce elektronické monitorovací jednotky spalovacího motoru. Jednotka bude umožňovat monitorování a záznam vybraných provozních stavů spalovacího motoru. Jedná se zejména o měření teploty, vlhkosti, tlaku, otáček, a dalších vybraných měřitelných veličin. Pro záznam historie naměřených dat bude zařízení disponovat možností ukládání dat, například na vybrané paměťové médium. Bude umožněn dálkový přenos měřených dat v reálném čase vybraným typem komunikačního rozhraní. Konstruktivním základem elektronické monitorovací jednotky bude mikropočítač řady ATmega. Firmware mikropočítače bude realizován v jazyce C pro mikropočítače.

V teoretické části práce bude provedena řešerše na zadané téma se zaměřením na komerčně vyráběná zařízení, určená k měření, přenosu a záznamu naměřených dat. Praktická část bude obsahovat popis konstrukce vlastního návrhu monitorovací jednotky. Návrh mechanické konstrukce bude proveden ve formě 3D modelu v prostředí software DesignSpark Mechanical. Nedílnou součástí práce bude kompletní výrobní dokumentace, včetně okomentovaných zdrojových kódů mikropočítače a podrobného uživatelského a montážního návodu.

Rozsah pracovní zprávy: **40**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209 ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4 MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **17. prosince 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. května 2020**



L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji:

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 21. 8. 2020

Michal Florián

Poděkování

Děkuji svým rodičům, bratrovi a zvláště pak své manželce za trpělivost a podporu při celé době mého studia. Dále děkuji kolegům studentům a všem zaměstnancům školy, kteří se jakkoli podíleli na mé výuce, popř. na administrativě spojenou s mým studiem. Dále také velmi děkuji všem vyučujícím, u kterých jsem skládal zkoušky a zápočty, za férové jednání při těchto testech mých znalostí.

Mnohokrát děkuji panu Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D. za pomoc při výběru tématu mé bakalářské práce, za odbornou pomoc při návrhu monitorovací jednotky a za nasměrování správným směrem při volbě řešení.

Konečně velmi děkuji panu Ing. Martinovi Varechovi, MBA za umožnění prezenčního studia vysoké školy při zaměstnání.

V Pardubicích dne 21. 8. 2020

Michal Florián

ANOTACE

Práce pojednává o návrhu elektronické monitorovací jednotky, která sleduje pracovní parametry spalovacího motoru. Mezi sledované parametry patří zejména teplota, tlak oleje a otáčky motoru. Na zobrazení těchto parametrů je používán LCD displej, který slouží zároveň jako vstupní rozhraní pro jednotku. Jednotka disponuje záznamem monitorovaných parametrů na vzdálený server, což slouží pro pozdější analýzu.

KLÍČOVÁ SLOVA

spalovací motor, AVR, mikročítač ATmega328P, LCD displej, Arduino, čidla

TITLE

Electronic monitoring unit of combustion motor

ANNOTATION

The work is about the design of an electronic monitoring unit that monitors the operating parameters of the combustion motor. The monitored parameters are mainly temperature, oil pressure and engine speed. An LCD display is used to display these parameters, which also serves as an input interface for the unit. The unit has a feature to record operating parameters to a remote server for future analysis.

KEYWORDS

combustion motor, AVR, microcontroller ATmega328P, LCD display, Arduino, sensors

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	10
SEZNAM ILUSTRACÍ	12
SEZNAM TABULEK	14
ÚVOD	15
1 TEORETICKÁ ČÁST	16
1.1 Definice spalovacího motoru	16
1.2 Historický vývoj motoru	16
1.2.1 Parní stroj	16
1.2.2 Zážehový motor	19
1.2.3 Vznětový motor	23
1.3 Základní dělení spalovacích motorů	24
1.3.1 Pístové spalovací motory	25
1.3.2 Turbínové spalovací motory	25
1.3.3 Proudové spalovací motory	25
1.3.4 Motory s vnějším spalováním	26
1.3.5 Motory s vnitřním spalováním	26
1.4 Dělení pístových spalovacích motorů	27
1.4.1 Dle skupenství použitého paliva	27
1.4.2 Dle způsobu dopravy paliva do válce	27
1.4.3 Dle počtu dob pracovního cyklu	28
1.4.4 Dle způsobu zapálení směsi paliva a vzduchu	30
1.5 Měření spalovacích motorů	31
1.5.1 Měření výkonových parametrů	31
1.5.2 Měření spotřeby paliva	32
1.6 Monitorování vybraných parametrů spalovacích motorů	34
1.6.1 Motohodiny spalovacího motoru	34
1.6.2 Otáčky spalovacího motoru	34
1.6.3 Měření teploty spalovacího motoru	35

1.6.4	Tlak v mazací soustavě	37
1.7	Mikropočítač ATmega328P	37
1.7.1	Vlastnosti mikropočítače ATmega328P	37
1.7.2	Popis vývodů pouzdra typu TQFP	39
1.7.3	Jádro mikropočítače	41
1.7.4	Paměti mikropočítače ATmega328P	44
1.7.5	Reset a další přerušení	46
1.7.6	Periferie mikropočítače ATmega328P	48
1.8	Komerčně vyráběné monitorovací jednotky	56
1.8.1	Diagnostický systém ELMS 601	56
1.8.2	Programovatelné automaty	57
2	PRAKTICKÁ ČÁST	58
2.1	Návrh a realizace elektronické monitorovací jednotky spalovacího motoru	58
2.2	Řídící jednotka	58
2.2.1	Napájecí obvody	59
2.2.2	Programovací obvod mikropočítače	60
2.3	Měření teploty chladicí kapaliny a oleje	61
2.4	Měření množství paliva	62
2.5	Měření tlaku oleje	62
2.6	Měření otáček	63
2.7	Celkové schéma	64
2.8	Deska plošných spojů	65
2.9	Nextion LCD displej	65
2.10	Komunikační modul GPRS	67
2.11	Program monitorovací jednotky	68
2.11.1	Nastavení vývojového prostředí	69
2.11.2	Vývojové diagramy	71
2.12	3D model v programu DesignSpark Mechanical	73

3	TESTOVÁNÍ MONITOROVACÍ JEDNOTKY	74
3.1	Měřicí stanoviště	74
3.2	Sledování teplot motoru	76
3.3	Sledování otáček motoru	77
3.4	Sledování hydrostatického tlaku v nádrži	77
3.5	Sledování tlaku mazacího oleje	78
3.6	Závěr z testování monitorovací jednotky	78
	ZÁVĚŘ	82
	POUŽITÁ LITERATURA	83
	PŘÍLOHY	86

SEZNAM ZKRATEK

3D	Trojdimenzionální
A/D	Analogovo-digitální
ALU	Aritmetiko-logická jednotka
AT příkazy	ATtention (příkazy pro komunikaci ovládání SIM modulů po USART)
AVR	Alf (Egil Bogen) and Vegard (Wollan) 's Risc processor
BOD	brown-out detector
CNG	Zemní plyn ve stlačené formě (Compressed natural gas)
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
ELF	Executable and Linkable Format
FTDI	Future Technology Devices International
HMI	Human Machine Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
I/O	Vstupně/výstupní
LCD	Displej z kapalných krystalů (Liquid Crystal Display)
LIFO	Last In First Out
LNG	Zemní plyn v kapalně (Liquefied natural gas)
LPG	Propan-butan ve zkapalněné formě (Liquefied petroleum gas)
MIPS	Mega instruction per second
MISO	Master In Slave Out
MLF	Micro Lead Frame
MLP	Micro Leadframe Package
MOSI	Master Out Slave In
MSB	Most Significant Bit
E85	Lihobenzínová paliva
NTC	Negative Temperature Coefficient
PHP	Hypertext Preprocessor
PLC	Programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
PTC	Positive Temperature Coefficient
PWM	Pulzně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RTD	Resistance temperature detector
SCK	Hodinový signál

SMD	Surface Device Mount
SMN30	Nafta smíchaná s metylesterem řepkového oleje
SPI	Serial Peripheral Interface
SQL	Structured Query Language
SRAM	Statická paměť (Static Random Access Memory)
SREG	Stavový registr
TFT	Thin-Film Transistors
THT	Through-hole technology
TQFP	Thin Quad Flat Package
UNIX	Operační systém
URL	Jednotná adresa zdroje (Uniform Resource Locator)
USART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter
USART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter
USB	Universal serial bus
WDT	Watchdog timer

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 - Principiální schéma přeměny energie ve spalovacím motoru (Hromádko, 2011) .	16
Obr. 1.2 - Cugnotův dělostřelecký vůz (Hromádko, 2011)	17
Obr. 1.3 - Wattův parní stroj z roku 1787 (Hromádko, 2011)	18
Obr. 1.4 - Wattův odstředivý regulátor (Hromádko, 2011)	18
Obr. 1.5 - První automobil na světě vynálezce Issaca de Rivaze (Hromádko, 2011)	19
Obr. 1.6 - Ottův motor z roku 1867, (Hromádko, 2011)	20
Obr. 1.7 - Daimler-Maybachův motocykl z roku 1885-86 (Branko, 2012)	21
Obr. 1.8 - Tříkolka Carla Benze z patentové dokumentace (Branko, 2012)	22
Obr. 1.9 - Dieselův motor z roku 1897 (Hromádko, 2011)	23
Obr. 1.10 – Řez turbínovým spalovacím motorem (Hromádko, 2011)	24
Obr. 1.11 - Princip proudového motoru, (Hromádko, 2011)	25
Obr. 1.12 - Činnost Stirlingova motoru (Hromádko, 2011)	26
Obr. 1.13 - Činnost čtyřdobého (zážehového) motoru (Hromádko, 2011)	29
Obr. 1.15 - Dynamometr firmy Power Test měří výkon motoru CAT (Power Test Dynamometer, nedatováno; Jackson, 2019)	31
Obr. 1.16 - Turbínkový průtokoměr (Beneš, 2012)	33
Obr. 1.17 - Principiální schéma indukčního průtokoměru (Beneš, 2012)	33
Obr. 1.18 - Měření otáček induktivním snímačem (Beneš, 2012)	34
Obr. 1.19 - Charakteristiky odporových čidel (Beneš, 2012)	35
Obr. 1.20 - Třívodičové zapojení (Beneš, 2012)	36
Obr. 1.21 - Čtyřvodičové zapojení (Beneš, 2012)	36
Obr. 1.22 - Membránový snímač tlakové difference (Beneš, 2012)	37
Tab. 1.1 - Stručný popis vývodů ATmega328P	40
Tab. 1.2 - Všechny možnosti nastavení portů	43
Obr. 1.27 - Vykonávání instrukcí u mikropočítače ATmega328P	44
Obr. 1.28 – Paměť programu u ATmega328P	45
Obr. 1.29 – Paměť dat u ATmega328P	46
Tab. 1.3 - Zdroje přerušení	47
Obr. 1.30 - Čítač / časovač 1	50
Obr. 1.31 - Propojení Master – Slave na sběrnici SPI	51
Obr. 1.32 - Princip převodu u A/D převodníku s postupnou aproximací	52
Obr. 1.33 - Zjednodušené schéma A/D převodníku s postupnou aproximací	52

Obr. 1.34 - Zapojení sériového SPI programování mikropočítače ATmega328P	53
Obr. 1.35 - Naznačení sériového přenosu	54
Obr. 1.36 - Naznačení paralelního přenosu	54
Obr. 1.37 - Zapojení paralelního programování	54
Obr. 1.38 - Proces vytváření spustitelného programu z kódu jazyka C (Herout, 2003)	55
Obr. 1.39 - Blokové schéma systému ELMS 601 (Řídicí jednotky pro řízení a monitorování agregátu, nedatováno)	56
Obr. 1.40 - Ukázka zapojení automatů v rozvaděčích pomocí EtherCATu	57
Obr. 2.1 - Blokové schéma monitorovací jednotky	58
Obr. 2.2 - Napájecí obvod pomocí integrovaného obvodu MC34063	59
Obr. 2.3 - Napájecí obvod pomocí integrovaného obvodu RSDW20F-05	60
Obr. 2.4 - Programovací obvod FT232RL s mini USB konektorem	61
Obr. 2.5 - Obvod pro měření teploty pomocí čidla Pt1000 a MAX31865	61
Obr. 2.6 - Zapojení převádějící proudový signál na napěťový	62
Obr. 2.7 - Odporový dělič s napěťovým sledovačem	63
Obr. 2.8 - Obvod generující obdélníkový průběh	64
Obr. 2.9 - Celkové schéma monitorovací jednotky	64
Obr. 2.10 - Dvouvrstvá deska plošných spojů monitorovací jednotky	65
Obr. 2.11 - Uživatelské prostředí Nextion HMI	66
Tab. 2.1 - Sekvence AT příkazů	67
Obr. 2.13 – Volba vývojové desky v Arduino IDE	69
Obr. 2.14 - Volba COM portu v Arduino IDE	70
Obr. 2.15 – Vypálení zavaděče v Arduino IDE	70
Obr. 2.16 - Vývojový diagram programu	71
Obr. 2.18 – Vyhodnocení čítaných pulzů s převodem na frekvenci	72
Obr. 2.19 – Obsluha externího přerušení pro provedení odesílací sekvence AT příkazů	73
Obr. 3.5 – Záznam otáček motoru	77
Obr. 3.6 – Záznam množství kapaliny v nádrži	78
Obr. 3.7 – Zaznamenaná data v MySQL databázi na serveru	79
Obr. 3.8 – Způsob ohřevu čidla Pt1000	80
Obr. 3.9 – Funkční generátor nastaven na obdélníkový průběh s frekvencí 600 Hz	80
Obr. 3.10 – Montážní otvor pro měření množství kapaliny v nádrži	81
Obr. 3.11 – Tlakové čidlo v hloubce 1 m	81

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 - Stručný popis vývodů ATmega328P	40
Tab. 1.2 - Všechny možnosti nastavení portů	43
Tab. 1.3 - Zdroje přerušení	47
Tab. 2.1 - Sekvence AT příkazů	67

ÚVOD

Spalovací motory jsou mezi námi přes 100 let a je pravděpodobné, že mezi námi ještě dlouho budou. Za tu dobu u nich došlo k velkému pokroku, ale vždy se dá ledasco zlepšit. U moderních aut se stále snižuje spotřeba při zachování stejného výkonu motoru. U pracovních strojů se naopak dosahuje neustále vyšších výkonů motorů těchto strojů. Zlepšení spalovacích motorů se dá dosáhnout pečlivým monitorováním a následnou analýzou naměřených dat.

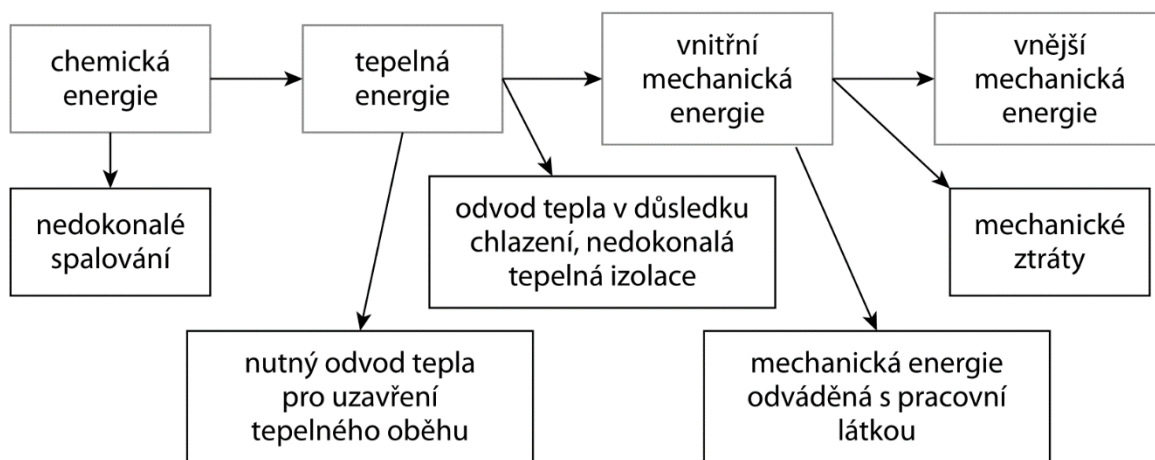
Motivací pro práci na návrhu a realizaci elektronické monitorovací jednotky spalovacího motoru bylo hlavně mé zaměstnání ve firmě HROCHOSTROJ a.s., ve kterém se velice často setkávám s těmito stroji. Nejčastěji mám možnost sledovat práci diesellového agregátu, který žene samotné pojezdy kolejových vozidel nebo slouží k pohánění hydrogenerátorů, které pak pohánějí akční členy v případě pracovního režimu.

Monitorovací jednotky spalovacích motorů nejsou na trhu příliš k dispozici, což je z důvodu implementace tzv. řídicích jednotek, které motory regulují, monitorují a v dnešní době i zaznamenávají provozní data na paměťová úložiště nebo se tato data ukládají na vzdálený server. V automobilovém průmyslu se k informacím tohoto typu nedá dostat z důvodu patentů popř. kvůli hrozbě z průmyslové špionáže. U diesellových agregátů staršího data výroby je však monitorovací jednotka, která data zaznamenává a ukládá k pozdější analýze, opravdu důležitá věc, pokud chceme motor dlouhodobě provozovat. Tato práce se zabývá monitorováním dat spalovacích motorů staršího data výroby.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 DEFINICE SPALOVACÍHO MOTORU

Spalovací motor je tepelný stroj, který spalováním paliva přeměňuje chemickou energii na tepelnou. Tepelná energie, ve formě exploze, se převádí na mechanickou práci. U pístových spalovacích motorů je energie z exploze využívána jako energie potenciální (tlak spalin) nebo jako energie kinetická (rychlost proudu spalin) u spalovacích turbín. Schéma přeměny energie ve spalovacím motoru je znázorněný na obr. 1.1 (Hromádko, 2011; Spalovací motory, 2001).

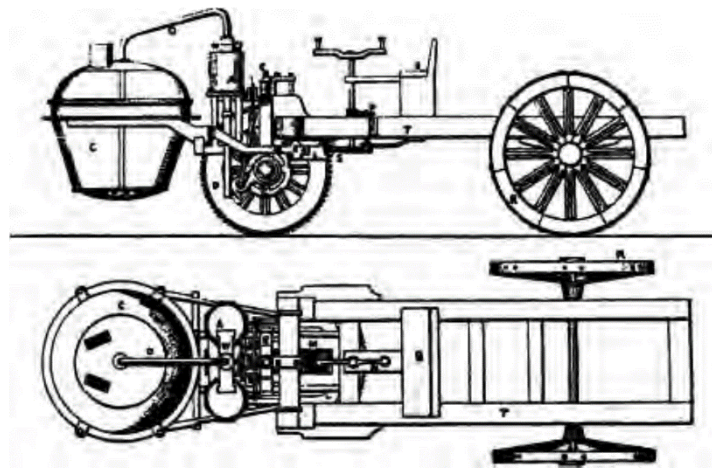


Obr. 1.1 - Principiální schéma přeměny energie ve spalovacím motoru (Hromádko, 2011)

1.2 HISTORICKÝ VÝVOJ MOTORU

1.2.1 Parní stroj

Kapitán francouzské armády Nicolas Joseph Cugnot (1725–1804) byl nadaný vynálezce, který je považován za autora prvního funkčního vozidla s vlastním pohonem. I přesto, že z počátku neměl potřebné finance, podařilo se mu na svůj vynález získat investora, tehdejšího ministra války markýza de Choiseul. Choiseul pověřil Cugnota sestavením parního traktoru pro dělostřelectvo francouzské armády. Roku 1769 byl Cugnot se svojí prací hotov a svůj vynález představil v Paříži. Jeho vůz dosáhl maximální rychlosti $4,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a na jedno naplnění kotle mohl kontinuálně jet 12 minut. Poté bylo potřeba na zemi rozdělat oheň a počkat až se vytvoří pára na dalších 12 minut. Dělostřelecký vůz vynálezce Cugnota je znázorněný na obr. 1.2 (Hromádko, 2011).



Obr. 1.2 - Cugnotův dělostřelecký vůz (Hromádko, 2011)

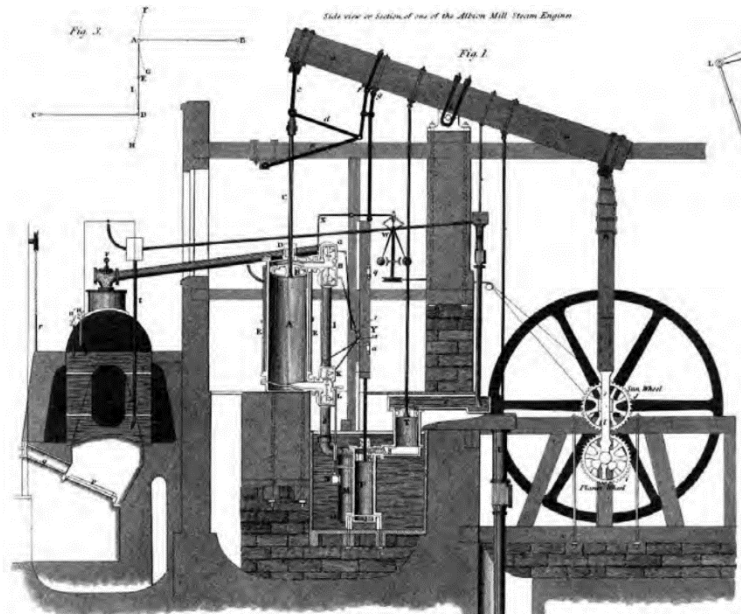
Stroj pracoval na principu rohatky a západky a poháněl tak přední kolo. Při pohybu dolů zabrala jedna pístní tyč za ozubené kovové kolo a při pohybu zpět se pohybovala volně (pracoval druhý píst). Ministr války byl vynálezem nadšen a pověřil Cugnota sestrojením většího vozidla. Nový vůz byl hotov na přelomu let 1770-71. Vážil 5 tun a nedosáhl vyšší rychlosti než $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Výhodou bylo, že měl vlastní ohniště a nemuselo se zastavovat po 12 minutách. Když měl Cugnot vůz předvést, došlo k poruše a vůz narazil do zdi, která byla rozbořena na kousky. Vůz byl však netknutý. To se ministroví líbilo, protože se tím vůz osvědčil jako ideální válečný prostředek. Ministr války však zanedlouho poté upadl v nemilost u dvora a Cugnot přišel o finanční podporu. V roce 1769 dostal patent na parní stroj skotský vynálezce James Watt (1736-1819) (Hromádko, 2011).

I přes to, že Cugnotovy práce spadají do stejného období, nedá se předpokládat, že by se s Watterem znali. James Watt je tedy právoplatným vynálezcem parního stroje, a to nejen z důvodu patentu, ale hlavně pro jeho vylepšení parního stroje, který je zobrazen na obr. 1.3 (Hromádko, 2011).

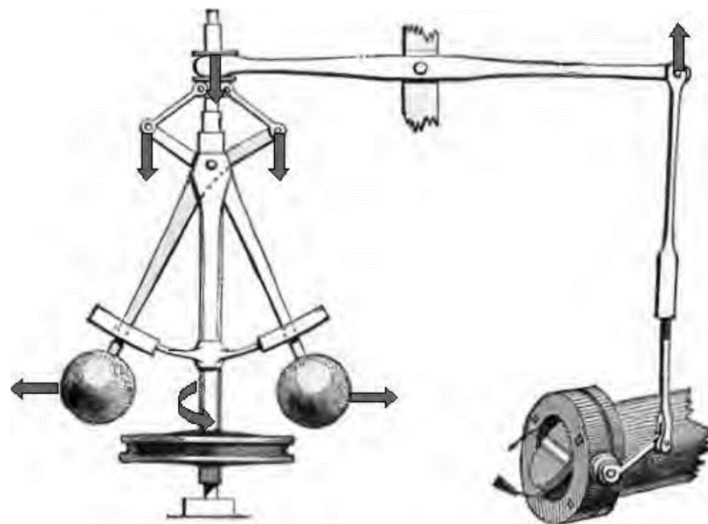
Vylepšení parního stroje Jamesem Watterem spočívalo v zavedení dvojčinného parního stroje. Pomocí šoupátka se tlaková pára přiváděla před píst i za píst válce. Píst tím pádem vyvíjel tlak (nebo tah) na ojnici v obou směrech pístu. Jednočinný stroj by musel mít dvojnásobný počet válců, aby se mu výkonově vyrovnal (Hromádko, 2011).

Na obr. 1.4 je znázorněný odstředivý regulátor, který se používal jako stabilizátor otáček parního stroje. V roce 1782 jej James Watt implementoval do svého vynálezu a tvořila ho dvě závaží, která rotovala a byla poháněna strojem, u kterého mělo docházet k regulaci otáček. Čím rychleji se stroj otáčel, tím se díky odstředivé síle dostávala závaží dál od sebe, což zvětšovalo

výchylku, která byla převedena na svislý pohyb nad ukotvením závaží a ten pak na páku s táhlem. Táhlo bylo přímo spojeno s ventilem přivádějícím páru. Mechanicky byla takto realizována záporná zpětná vazba (Hromádko, 2011; Branko, 2012).



Obr. 1.3 - Wattův parní stroj z roku 1787 (Hromádko, 2011)



Obr. 1.4 - Wattův odstředivý regulátor (Hromádko, 2011)

1.2.2 Zážehový motor

Vojenský vysloužilcec původem ze Švýcarska, Issac de Rivaz (1752-1828), získal roku 1807 patent na vozidlo poháněné výbušným motorem. Vůz zobrazený na obr. 1.5 Rivaz sestrojil i veřejně zkoušel. Motor vozu byl poháněn směsí svítiplynu a vzduchu, jež byla zapalována elektricky. Při výbuchu směsi se píst pohyboval směrem vzhůru a následně byl svojí vahou tlačěn dolů. Píst těmito pohyby poháněl ozubený hřeben spojený se soukolím, z něhož se potom



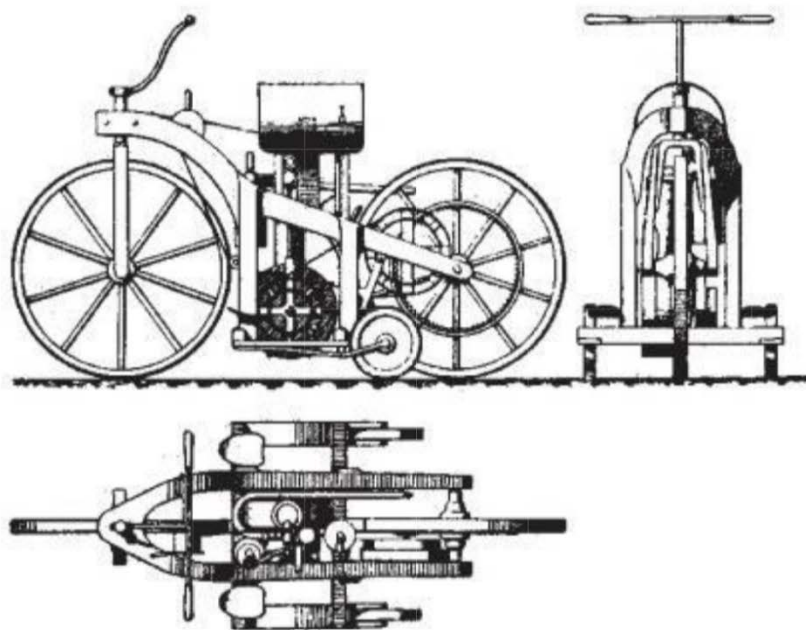
Obr. 1.5 - První automobil na světě vynálezce Issaca de Rivaze
(Hromádko, 2011)

pohyb převedl na kola vozu. Po udělení patentu Rivaz v dalších výzkumech nepokračoval, ale i tak je jeho vůz považován za první automobil poháněn výbušným motorem (Hromádko, 2011; Eckermann, 2001).

Mnohem větší úspěch ale zaznamenal na poli výbušných motorů Francouz belgického původu Jean Joseph Etienne Lenoir (1822-1900), který výbušné motory dovedl k dokonalosti takovým způsobem, že se jeho motor dal prakticky využít. Dne 10. 11. 1859 získal patent na motor poháněný svítiplynem. Již o rok později, tedy v roce 1860, začal Lenoir pracovat na motoru, který je poháněný plynem. Plyn byl stlačen v nádržce umístěné ve vozidle a získával se destilací uhlí. V roce 1863 s tímto vozem s motorem na plyn vykonal testovací jízdu z Paříže do jejího předměstí Joinville le Pont a zpět rychlostí $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Celá zkušební trať měřila 18 km. Lenoir sestrojil a prodal na 400 takových motorů a svoje plány dvoudobého motoru na plyn prodal německému inženýrovi Ottovi (Hromádko, 2011; Branko, 2012; Eckermann, 2001).



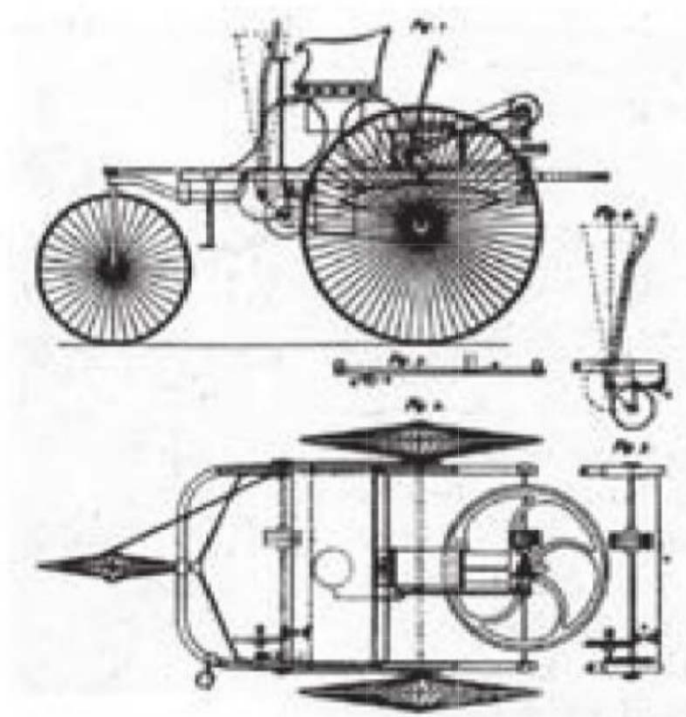
Obr. 1.6 - Ottův motor z roku 1867, (Hromádko, 2011)



Obr. 1.7 - Daimler-Maybachův motocykl z roku 1885-86 (Branko, 2012)

Nicolaus August Otto (1832-1891) společně s Carlem Eugenem Langenem (1833-1895) založili roku 1865 v Kolíně nad Rýnem první továrnu na motory na světě s názvem N. A. Otto & Cie (od roku 1869 s názvem Gasmotorenfabrik Deutz, nyní nese společnost název DEUTZ AG). Společně se snažili o čtyřtákní motor, na jehož princip Otto přišel. V Paříži na výstavě roku 1867 představili první verzi stále ještě dvoutákního jednoválcového motoru poprvé veřejnosti. Motor se vyznačoval větší hlučností než doposud sestrojené motory, ale na druhou stranu měl o třetinu nižší spotřebu plynu. Získal ocenění na téže výstavě v podobě Zlaté medaile. V témže roce se dvojici již podařilo vyvinout a za pomoci techniků sestavit čtyřtákní motor. Patentoval ho N. A. Otto 25. 5. 1877 a vyznačoval se zvýšeným kompresním poměrem. Výkon motoru se pohyboval do 3 koňských sil dle objemu pracovního válce při 60 otáčkách za minutu. Zapalování směsi bylo řešeno pomocí plynového plamínku, který se pomocí šoupátka ve správný okamžik směsi vystavil. Zážehový motor je dodnes označován jako „Ottův motor“ a je znázorněn na obr. 1.6 (Hromádko, 2011; Branko, 2012; Eckermann, 2001).

Za sériovou výrobu tohoto motoru byl však zodpovědný Gottlieb Daimler (1834-1900), technik a konstruktér v Otto-Langenově firmě. Daimler a Otto spolu měli neustálé rozepře týkající se technických otázek motorů. Daimler po deseti letech od Otta odešel a společně s dalším technikem, Wilhelmem Maybachem (1846-1929), spoluzaložili samostatnou firmu, která po několika přejmenování nese název Daimler AG a která je mateřskou společností



Obr. 1.8 - Tříkolka Carla Benze z patentové dokumentace
(Branko, 2012)

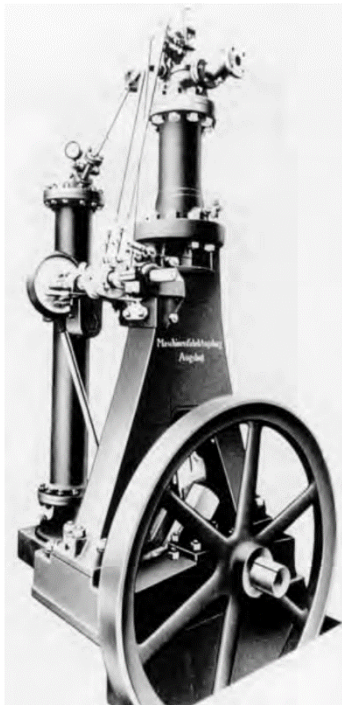
Mercedes-Benz a do roku 2007 i značky Chrysler. Maybach a Daimler byli rození konstruktéři a jsou považováni za tvůrce prvního motocyklu (1885-86), tedy dvoukolky s motorem. Historie však už zapomíná, že jejich dvoukolka měla ještě dvě opěrná kolečka, a proto se ve skutečnosti o motocykl nejedná. Znázornění jejich motocyklu je na obr. 1.7 (Hromádko, 2011; Branko, 2012; Eckermann, 2001; Daimler AG, 2016).

V roce 1884 přišlo zdokonalení „Ottova motoru“ ve formě elektrického zapalování, které posunulo motory o stupeň výše. Do té doby byly jeho motory stacionárními stroji. Otto do motoru přidal nízkonapěťové magnety a odpařovací karburátor, díky čemuž bylo možné přejít na spalování kapalných paliv. Tato skutečnost umožnila motorům stát se opravdu mobilními (Branko, 2012; Eckermann, 2001).

Za zmínku stojí ještě Carl Friedrich Michael Benz (1844-1929), jehož patent tříkolky je zobrazen na obr. 1.8. Benz byl německý konstruktér a vynálezce, který stejně jako Daimler i Maybach působil ve firmě Otto-Langen. Benz vylepšil dvoutaktní „Ottův motor“ o zapalování dynamem. Roku 1889 sestrojil dvoutaktní plochý motor s protilehlými válci, jež je označován za tzv. „kontramotor“ neboli „boxer“. Benz je po právu také považován za jednoho z tvůrců prvních automobilů (Branko, 2012; Eckermann, 2001).

1.2.3 Vznětový motor

Za otce vznětového motoru je označován německý vynálezce Rudolf Diesel (1858-1913), který se na univerzitě v Paříži zabýval termodynamikou. Pracovní oběh Dieselova motoru se blíží teoretickému oběhu dokonalého tepelného stroje (jedná se o tzv. Carnotův cyklus), který dosahuje nejvyšší účinnosti přeměny tepelné energie paliva na mechanickou práci. Na základě tohoto předpokladu Diesel uvažoval, že jeho motor bude mít účinnost 70 až 80 % s pracovním tlakem od 25 MPa do 35 MPa. To popsal ve své knize z roku 1893 (Teorie a konstrukce racionálního tepelného motoru). Později těchto tvrzení litoval a ověřil si, že nejdříve musí usilovně pracovat a až poté psát knihy a články. Vznětový motor se od zážehového principiálně liší vznícením paliva kompresním teplem bez zapalovací soustavy, na rozdíl od zážehového, kde se směs zapaluje, dnes zpravidla zapalovací svíčkou a dříve plamínkem. První pokusy s palivem vznětového motoru byly s uhelným prachem. Nedlouho poté Diesel postavil v továrně Maschinenfabrik v Augsburgu (později továrna firmy MAN) vznětový motor spalující petrolej. Podobně jako zážehový motor je označován jako „Ottův motor“, tak vznětový motor je označován jako „Dieselův motor“ a je znázorněn na obr. 1.9 (Branko, 2012; Eckermann, 2001).



Obr. 1.9 - Dieselův motor z roku 1897 (Hromádko, 2011)

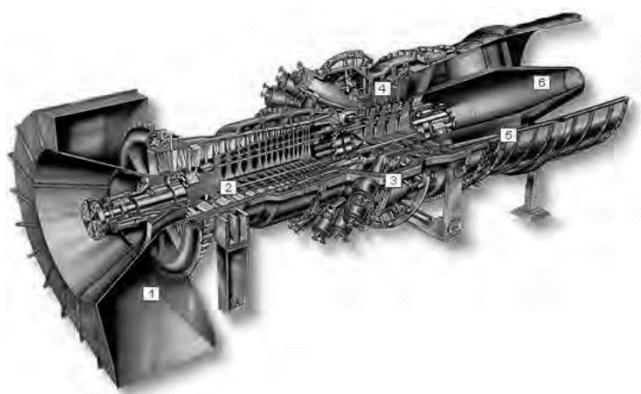
Myšlenka vznícení paliva byla sice dosažena, ale zbývalo vyvinout a sestavit konstrukci vhodného vstřikového zařízení. Pro správné dopravení paliva do spalovacího prostoru musí být vstřikovací tlak vyšší, než je tlak spalovací po vznícení (Branko, 2012; Eckermann, 2001).

Dosáhnout Carnotova cyklu bylo nemožné, protože vznětový motor nešlo provozovat bez chlazení. Diesel roku 1897 přihlásil patent na tepelný stroj, který spaloval kapalně či jiné palivo při konstantním tlaku. Jednalo se o motor s výkonem 13,1 kW při 150 otáčkách za minutu a s měrnou spotřebou $238 \text{ g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Tyto parametry motoru představovaly v té době neuvěřitelnou účinnost 26,2 % (Branko, 2012; Eckermann, 2001).

Nyní mohl „Dieselův motor“ nahradit parní stroj, který byl doposud stále používán jako pohon lokomotiv a lodí. Diesel za svůj motor dostal roku 1900 v Paříži ocenění tzv. Velkou cenou. Na základě tohoto úspěchu získal Diesel kontrakt na motory do kodaňské loděnice a již roku 1911 vyplula loď Seelandia se dvěma dieselovými osmiválcovými motory, které sloužily až do roku 1942. Roku 1912 vyplula další dánská loď se sedmi, také vznětovými, motory s výkonem 2000 koní. Roku 1913 vyrobila švýcarská strojírna Sulzer motor V4 o výkonu 1000 koní pro lokomotivu Borsig, která překonala hranici $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (Branko, 2012; Eckermann, 2001).

1.3 ZÁKLADNÍ DĚLĚNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Spalovací motory lze podle způsobu přeměny tepelné energie v mechanickou práci rozdělit na tři základní typy.



Obr. 1.10 – Řez turbínovým spalovacím motorem
(Hromádko, 2011)

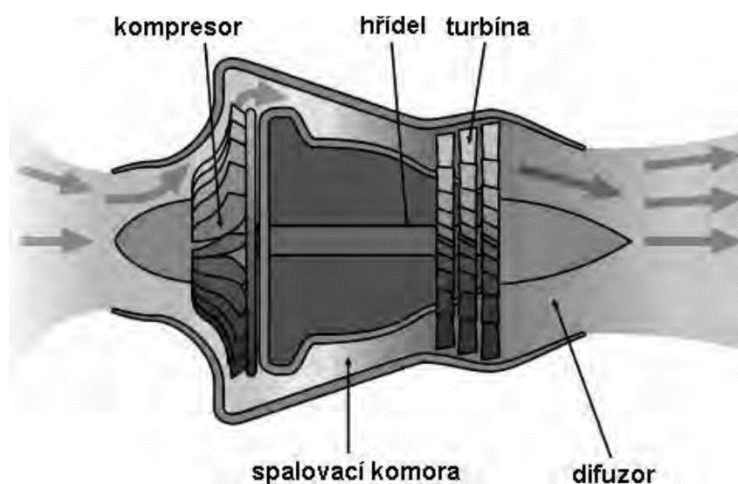
1.3.1 Pístové spalovací motory

U pístových spalovacích motorů se energie přenáší z pístu dnes nejčastěji na klikovou hřídel. Těmito motory se v této práci budu zabývat podrobněji v kapitole 1.4.

1.3.2 Turbínové spalovací motory

U tohoto typu se mechanická energie získává z dynamické energie spalin. Ve zvláštní spalovací komoře, do které se dopravuje potřebný vzduch zpravidla rotačním kompresorem poháněným turbínou, probíhá spalování paliva. Palivo se vstříkuje tryskami v kapalné formě. Spalování je u tohoto typu motoru plynulé a nepřerušované. Na obr. 1.10 je znázorněný řez turbínovým spalovacím motorem (Hromádko, 2011).

1.3.3 Proudové spalovací motory



Obr. 1.11 - Princip proudového motoru, (Hromádko, 2011)

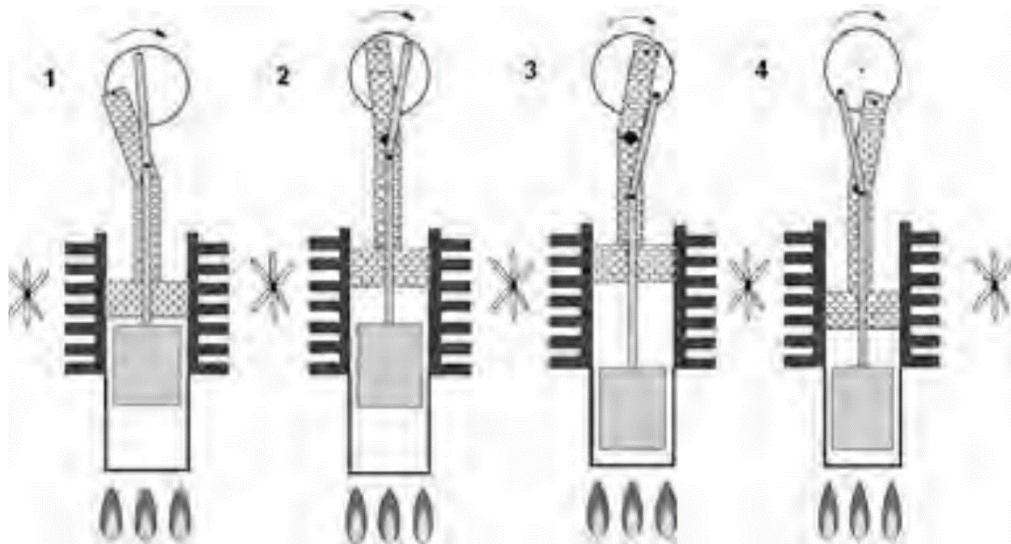
Využití reakční síly vytékajících spalin, které proudí vysokou rychlostí z výstupní trysky motoru je princip, který se využívá u proudových motorů, tento princip je zobrazen na obr. 1.11. Vstupní ústrojí, do kterého vstupuje vzduch, se nachází v přední části. Vzduch je dále nasáván kompresorem, který vzduch stlačuje, čímž se vzduch zahřívá a putuje do spalovací komory. Ve spalovací komoře se do vzduchu vstříkuje palivo. Směs zahřátého vzduchu a paliva se zažehne a tím se uvolní tepelná energie. Horké plyny, které vychází ze spalovací komory, roztáčejí turbínu v zadní části motoru. Turbína je spojena podélnou hřídelí s kompresorem, jež

pohání motor. Za turbínou vzniká v trysce vysoký tlak a tepelná energie, jež se mění na kinetickou. Tímto vzniká tah motoru (Hromádko, 2011).

1.3.4 Motory s vnějším spalováním

Tyto motory se v podstatě vůbec už nepoužívají, ale pro úplnost je zde uvádím.

Spalovací proces těchto motorů probíhá mimo pracovní válec a médiem pro přenos energie je vodní pára, vzduch anebo některé plyny (např. helium). Nejznámějšími představiteli těchto motorů jsou parní motory a Stirlingův motor, který má dva pracovní prostory, přičemž jeden je studený a druhý horký. Studeného a horkého pracovního prostoru je docíleno buď přímým ohříváním a chlazením komor, nebo vnějším ohříváčem a chladičem. Činnost tohoto motoru je znázorněna na obr. 1.12 (Hromádko, 2011).



Obr. 1.12 - Činnost Stirlingova motoru (Hromádko, 2011)

1.3.5 Motory s vnitřním spalováním

U těchto motorů probíhá proces spalování paliva přímo v pracovním válci. Pracovní směsí je vzduch a samotný produkt spalování. Typickým představitelem tohoto typu motoru je právě pístový spalovací motor, kterým se bude tato práce nadále zabývat (Hromádko, 2011).

1.4 DĚLENÍ PÍSTOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

1.4.1 Dle skupenství použitého paliva

Plynové motory

Palivem u těchto motorů bývá propan-butan, a to nejčastěji ve zkapalněné formě (LPG), zemní plyn v kapalné (LNG) nebo ve stlačené formě (CNG) nebo bioplyn (Hromádko, 2011).

Motory na kapalná paliva

U motorů na kapalná paliva bývají nejrozšířenějším kapalným palivem deriváty ropy. Konkrétně jde o benzín a petrolej reprezentující ropná lehká odpařitelná paliva nebo nafta a mazut, což jsou naopak těžká odpařitelná paliva. Paliva neropného původu jsou například methanol, ethanol a methylester řepkového oleje. Dalšími palivy pak mohou být směsná paliva (lihobenzínová paliva např. **E85** nebo nafta smíchaná s metylesterem řepkového oleje např. **SMN30**) (Hromádko, 2011).

Více palivové motory

U těchto motorů se většinou v případě samotných paliv jedná o kombinaci plyných a kapalných paliv např. CNG a benzín nebo LPG a benzín, případně LNG a nafta (Hromádko, 2011).

Motory na tuhá paliva

Motory na tuhá paliva jsou dnes méně používané, ale jako zástupce těchto paliv je palivo v práškovitém tvaru např. uhelný prach (Hromádko, 2011).

1.4.2 Dle způsobu dopravy paliva do válce

Motory s přirozeným sáním

Motory s přirozeným sáním (čtyřdobé motory) nasávají podtlakem směs paliva se vzduchem do válce motoru. Podtlak vzniká pohybem pístu ve válci (Hromádko, 2011).

Motory s vyplachováním

Motory dvoudobé, u nichž je k dopravě čerstvé náplně do válce motoru využíván přetlak vyvolaný dmychadlem nebo spodní kompresí u malých motorů, tj. stlačením vzduchu nebo směsi paliva se vzduchem pístem motoru v klikové skříni motoru při jeho pohybu do dolní úvrati. Přičemž vstupující čerstvá náplň vyplachuje vnitřní objem válce od zbylých spalin. Přetlak bývá mezi 15 až 20 kPa (Hromádko, 2011).

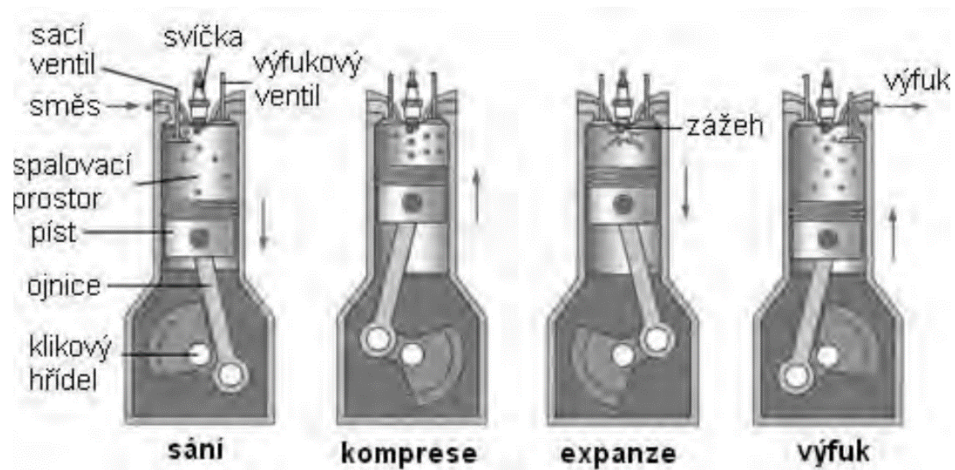
Motory přeplňované

Přeplňovat se dají dvoudobé i čtyřdobé motory v případě, že používají dmychadlo k dopravě směsi vzduchu a paliva do válce. Přetlak, který dmychadlo vytváří, je 0,1 až 0,2 MPa (Hromádko, 2011).

1.4.3 Dle počtu dob pracovního cyklu

Motory čtyřdobé

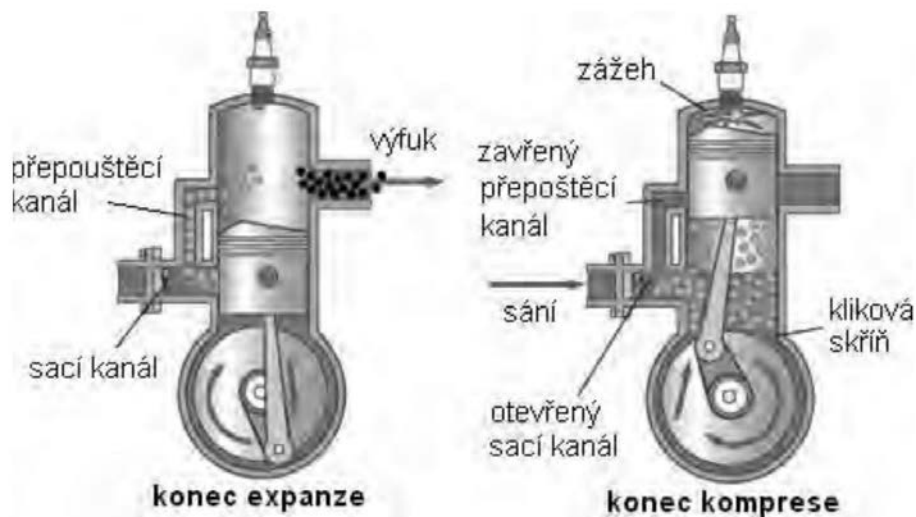
Těmto motorům se také jinak nazývá čtyřtaktní, neboť je jejich pracovní cyklus rozdělen do čtyř taktů neboli dob. První doba se nazývá sání. Píst se pohybuje z horní části válce do dolní a při otevřeném nasávacím ventilu je do pístu nasávána výbušná směs (zážehový motor) nebo čistý vzduch (vznětový motor). Druhá doba se nazývá stlačení (komprese), píst se v ní pohybuje z dolní části do horní části válce a výbušná směs se stlačuje, dokud nedojde v místě před horní částí válce k zažehnutí směsi, respektive ke vstříku paliva. Bezprostředně poté dojde k zahoření směsi, tedy k výbuchu (expanzi), a v této době motor vykonává užitečnou práci, což se nazývá třetí doba. Čtvrtá a poslední doba se nazývá výfuk a při otevřeném výfukovém ventilu pohyb válce vytlačí zplodiny hoření. Po této poslední době se celý cyklus opakuje a tím dochází k chodu motoru. Grafické znázornění činností jednotlivých cyklu tohoto typu motoru jsou znázorněny na obr. 1.13 (Hromádko, 2011; Branko, 2012).



Obr. 1.13 - Činnost čtyřdobého (zážehového) motoru (Hromádko, 2011)

Motory dvoudobé

Dvoudobý nebo dvoutaktní motor při jednom taktu válce vykoná to samé, co čtyřdobý motor za dva takty válce. Na začátku cyklu je píst v dolní části válce s tím, že horní hrana válce začne odkrývat přepouštěcí kanál. Přepouštěcím kanálem vstupuje předběžně stlačené palivo a vzduch do prostoru nad píst z klikové skříně. Další část doby pohybu pístu je z horní úvrati válce, který v tomto momentu zakrývá přepouštěcí a výfukový kanál. Směs, respektive vzduch, je nyní ve válci stlačována. Tento pohyb zajišťuje podtlak v klikové skříně a po odkrytí sacího kanálu dochází k sání směsi, respektive vzduchu. Před dosažením horní části válce dojde k zážehu jiskrou, respektive ke vstřiku paliva a dojde ke vznícení směsi. Vlivem hoření (výbuch neboli expanze) se píst začne pohybovat zase dolů, v této části taktu nejdříve spodní hrana pístu zakrývá sací kanál, což má za následek stlačování směsi, respektive vzduchu, v klikové skříně. Pokračováním tohoto pohybu horní hrana pístu odkryje výfukový kanál, zplodiny opustí válec a následuje odkrytí přepouštěcího ventilu, směs, respektive vzduch, stlačený v klikové skříně vstupuje nad píst a konečně vytlačuje zbytky hoření. Po zakrytí výfukového i přepouštěcího kanálu se cyklus opakuje. Grafické znázornění činností jednotlivých cyklů tohoto typu motoru je zobrazené na obr. 1.14 (Hromádko, 2011; Branko, 2012).



Obr. 1.14 - Činnost dvoudobého (zážehového) motoru (Hromádko, 2011)

1.4.4 Dle způsobu zapálení směsi paliva a vzduchu

Zážehové motory

Směs paliva a vzduchu se zážehuje vnějším zdrojem energie. Dnes se k zážehu používá elektrická jiskra vytvářena zapalovací svíčkou. Zážehový motor se používá u plyných, benzínových a dříve petrolejových motorů. Kompresní poměr, který značíme ϵ , je omezen teplotou vznícení směsi paliva se vzduchem a tím pádem vznikem detonačního hoření ($\epsilon_{\max} = 11,5$). Na konci komprese bývá tlak 0,8 až 1,5 MPa a teplota 400 až 600 °C. Zážehové motory mohou být čtyřdobé i dvoudobé (Hromádko, 2011).

Vznětové motory

Vstřikované palivo do válce motoru se v důsledku vysokého tlaku, tím pádem i teploty, vznítí. Velký kompresní poměr ($\epsilon_{\min} = 12$) je nutno použít pro dosažení teploty, při které se vstřikované palivo dokáže vznítit. U motorů s přímým vstřikováním je běžný kompresní poměr $\epsilon = 17$ a u komůrkových motorů je $\epsilon = 22$. Na konci komprese je tlak 3,0 až 5,5 MPa s teplotami mezi 700 a 900 °C (Hromádko, 2011).

Pístové spalovací motory se dále dají dělit z konstrukčního hlediska podle způsobu přenosu síly, podle způsobu činnosti, podle počtu válců, podle uspořádání válců a podle chlazení. Popis tohoto rozdělení je však nad rámec této práce.

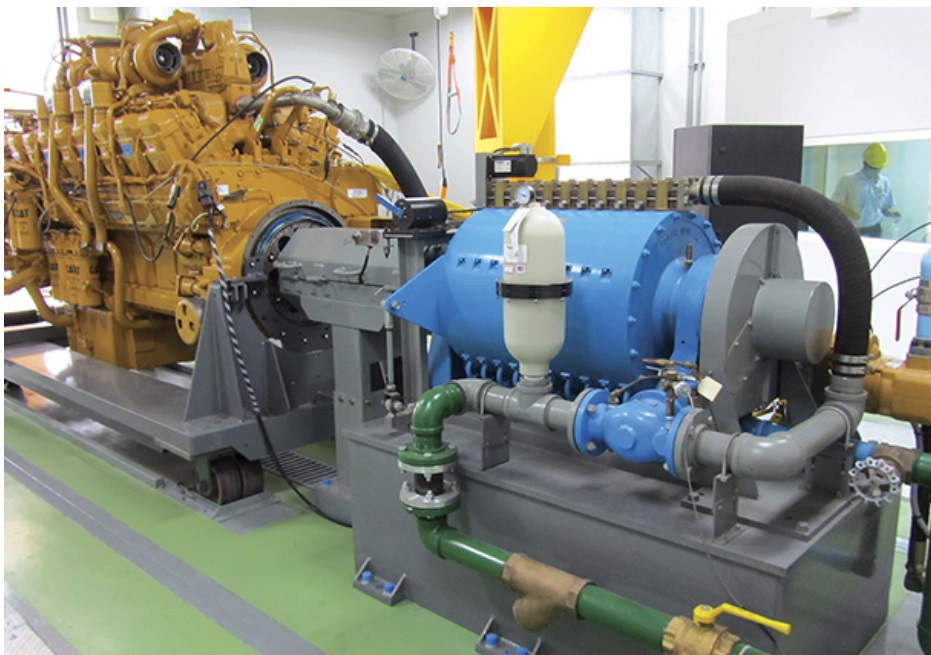
1.5 MĚŘENÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Měření zařízení, jako je spalovací motor, je důležité pro jeho dlouhodobé provozování. Měřením se myslí zjišťování parametrů motoru, mezi které patří hlavně výkon, točivý moment a spotřeba paliva. Tato měření obvykle probíhají ve zkušebnách motorů, které jsou na potřebná měření vybavena (Hromádko, 2011).

1.5.1 Měření výkonových parametrů

Měření na zkušebním stanovišti

Výkonové parametry, točivý moment (Nm) a výkon (kW) jsou, v závislosti na frekvenci otáček motoru, výstupem při měření. K základním metodám měření výkonových parametrů patří měření na klikovém hřídeli, který je připojen k měřidlu. Tento způsob je považován za plně průkazný, protože splňuje příslušnou přesnost měření jednotlivých signálů. Zkušebnictví spalovacích motorů využívá pro měření mechanického výkonu tzv. výkonové brzdy. Termín brzda je odvozen od skutečnosti, že proti neznámému točivému momentu působí brzdný točivý moment, který známe nebo měříme. Nejčastěji používané jsou elektromagnetické vířivé brzdy a univerzální brzdy, což jsou nejčastěji asynchronní motor-generátory (dynamometry) (Hromádko, 2011).



Obr. 1.15 - Dynamometr firmy Power Test měří výkon motoru CAT (Power Test Dynamometer, nedatováno; Jackson, 2019)

Elektromagnetická vířivá brzda

Při přívodu stejnosměrného proudu do elektromagnetické vířivé brzdy vzniká magnetické pole. Toto pole je potom v zubech pólového kotouče statické a tím pádem spolu s kotoučem také obíhá. Ve stěně chladicí komory, která je přivrácená ke kotouči, zmíněné pole pulzuje s frekvencí, která odpovídá zubům kotouče. Tímto ve stěnách komor vznikají vířivé proudy, které vytvářejí příčné pole a tím brzdí rotor. Konstrukce brzdy je symetrická, proto umožňuje brždění obou směrů (Hromádko, 2011).

Univerzální brzda

Dynamometr nebo také elektrodynamická brzda je v podstatě stroj podobný elektrickému generátoru nebo elektromotoru s výkyvně uloženým statorem, viz obr 1.15. Dynamometry se nejčastěji používají pro homologační měření, kde je požadována změna zatížení a otáček s frekvencí 10 Hz. Takto přesné jsou pouze dynamometry (Hromádko, 2011).

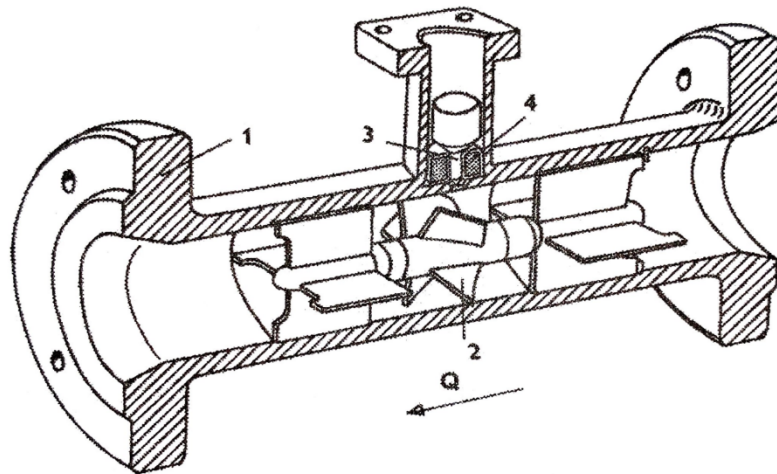
1.5.2 Měření spotřeby paliva

Na měření spotřeby paliva se používají palivoměry, resp. průtokoměry. Umožňují měřit okamžitou i kumulativní spotřebu paliva. U starších konstrukcí motorů příliš nezáleželo na umístění průtokoměru paliva v palivovém systému, stačilo jej umístit za palivové čerpadlo. U vznětových motorů, které jsou proplachovány vstřikovacím čerpadlem, je nutné průtokoměr zapojit tak, aby se přepadové palivo nepromítlo do měření, a přitom se zachovaly funkce spojené s proplachováním (odplynění a chlazení vstřikovacího čerpadla). U zážehových motorů je pak navíc třeba dodržet správný systémový tlak paliva (Hromádko, 2011).

Turbínkový průtokoměr

Princip turbínkových průtokoměrů spočívá v tom, že médium, v tomto případě nafta nebo benzín, protéká potrubím a je mu do cesty vložena např. rotorová turbína, která má přepočtenou jednu otáčku na danou rychlost a objem protékaného paliva. Rotor turbínky je mechanicky spojen přes ozubené kolo s měřicím čidlem, které bývá indukčního nebo magnetického typu anebo je pohyb média převeden z ozubených kol na elektrické impulzy

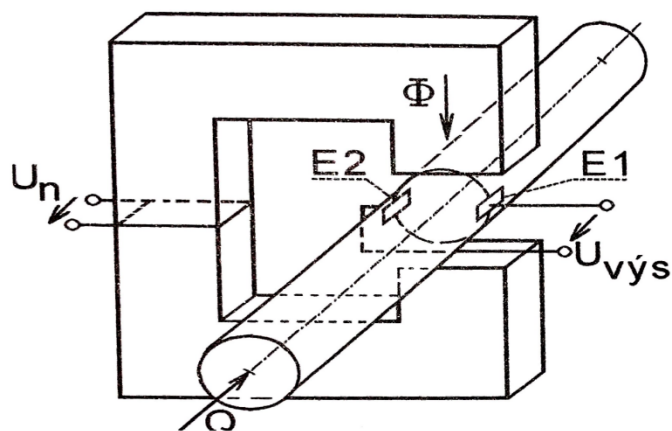
pomocí Hallova jevu. Na obr. 1.16 je zobrazený turbínkový průtokoměr, který funguje na principu popsaném výše (Beneš, 2012).



Obr. 1.16 - Turbínkový průtokoměr (Beneš, 2012)

Indukční průtokoměr

Indukční průtokoměr využívá Faradayova zákona o indukci napětí ve vodiči při jeho pohybu v magnetickém poli. Proudící kapalinu s velmi malou vodivostí σ si představme jako paralelně řazená proudová vlákna pohybující se kolmo k vektoru magnetické indukce a rychlosti, viz obr. 1.17. Při konstantní magnetické indukci a rychlosti je napětí U_{vys} úměrné právě rychlosti. Napětí se indukuje průtokem kapaliny na elektrodách E_1 a E_2 (Beneš, 2012; Beneš, 2014).



Obr. 1.17 - Principiální schéma indukčního průtokoměru (Beneš, 2012)

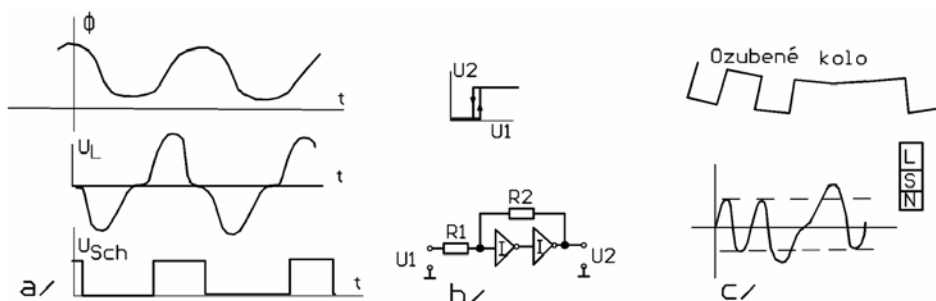
1.6 MONITOROVÁNÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ SPALOVACÍCH MOTORŮ

1.6.1 Motohodiny spalovacího motoru

Sledování motohodin je velmi důležité, a to zejména u strojů, kde nelze vztáhnout míru opotřebení k ujetým kilometrům. Tímto monitorováním určujeme, jak moc je motor opotřeбенý. Daný počet motohodin také může udávat doporučenou výměnu oleje mazací soustavy udanou výrobcem. Výpočet motohodin by měl vždy u daného motoru specifikovat výrobce, ale bývá zvykem, že motor za určitých (jmenovitých) otáček při běhu právě jednu hodinu vykáže jednu motohodinu (Mth). Pokud by motor běžel na polovinu jmenovitých otáček přesně jednu hodinu, vykáže jen polovinu motohodiny. Bývá udáváno, že se jedna motohodina rovná jedné hodině při nastartovaném motoru, bez ohledu na aktuální otáčky motoru, ale z logiky věci toto zjednodušení výpočtu nemůže přesně reflektovat opotřebení motoru, protože se motor opotřebovává jinak na volnoběh (otáčky bez zátěže) a jinak při pracovním zatížení (jmenovité otáčky) (Beneš, 2012).

1.6.2 Otáčky spalovacího motoru

Otáčky motoru můžeme sledovat a měřit přímo přenosem pohybu z hřídele motoru na rotační inkrementální enkodér nebo měřit indukčním snímačem zuby ozubeného kola mechanicky upevněného ke hřídeli. Indukční snímače se skládají mj. ze dvou cívek a podle jejich vzájemné indukčnosti vyhodnocují přítomnost zubu. Kdykoli je zub v ose měření indukčního snímače, na výstupu snímače se změní napětí, které je pak převedeno na obdélníkový průběh, který je dále zpracován.



Obr. 1.18 - Měření otáček induktivním snímačem (Beneš, 2012)

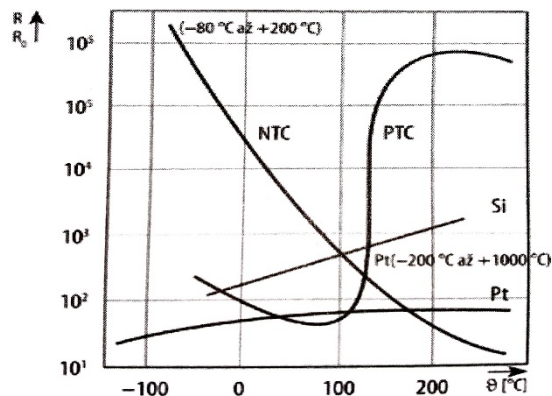
Na obr. 1.18a je znázorněný průběh magnetického toku, napětí na cívce a napětí na výstupu Schmittova obvodu. Na obr. 1.18b je znázorněný převodní charakteristika Schmittova obvodu

a jeho realizace pomocí hradel a konečně na obr. 1.18c je znázorněný průběh napětí na výstupu induktivního snímače, je-li mezi zuby mezera (Beneš, 2012).

Počet zubů na jednu otáčku je vždy pevně stanoven a nemění se. Tímto způsobem se monitoruje frekvence, která se převádí na otáčky motoru. (Beneš, 2012).

1.6.3 Měření teploty spalovacího motoru

Teplota chladicí kapaliny a mazacího oleje jsou veličiny nutně monitorované pro dlouhodobou výdrž motoru. Kdyby se totiž např. mazací olej přehříval, ztratil by tak svoje fyzikální vlastnosti, přestal by plnit funkci maziva a v nejhorším případě by se motor zadřel.



Obr. 1.19 - Charakteristiky odporových čidel (Beneš, 2012)

Odporové čidla teploty

Pro měření těchto teplot se v drtivé většině používají tzv. RTD (resistance temperature detector) termometry, což jsou odporové snímače teploty. Tyto snímače rozdělujeme podle použitého druhu kovu popř. polovodičového materiálu (křemík). Elektrickým signálem je úbytek napětí, vznikající na teplotně závislém odporu čidla při průchodu měřicího proudu. Teplotní závislost se nazývá a určuje tzv. teplotním součinitelem odporu α a je definovaná jako střední relativní změna odporu na stupeň Celsia mezi teplotami od 0 do 100 °C.

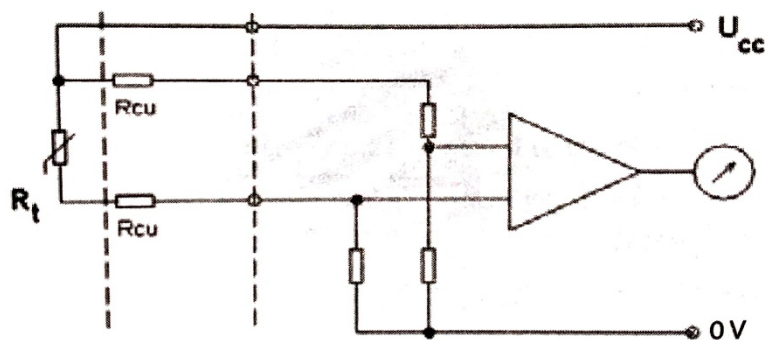
Vhodné je brát v potaz i Joulovo teplo, které vzniká při průchodu měřicího proudu obvodem. Vzniká pak samoohřev měřicího obvodu, procházejícím proudem, proto velikost změny teploty závisí i na velikosti protékajícího proudu. U platinového čidla Pt100 je udáván doporučený měřicí proud 1 mA, který dle specifikace znamená chybu menší než 0,05 °C. Jako materiál se tedy velmi často používá platina díky jejím dobrým fyzikálním vlastnostem. Dalšími používanými materiály jsou měď, nikl, iridium nebo některé slitiny.

Termistory

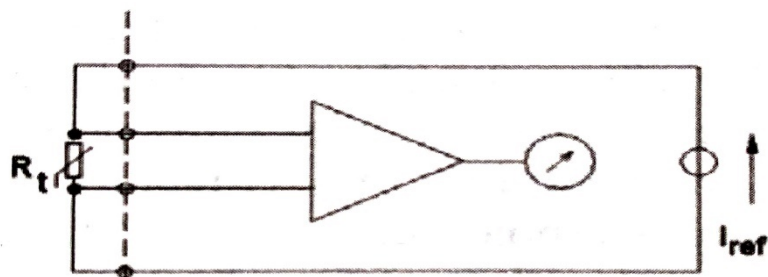
Mezi používaná polovodičová odporová čidla patří termistory. Termistory se v zásadě dělí na dvě skupiny. První skupina termistorů se vyznačuje tím, že jejich odpor s rostoucí teplotou klesá (NTC) a u druhé skupiny odpor s rostoucí teplotou stoupá (PTC). NTC termistory se pro svůj lineárnější průběh používají častěji, ale postupně jsou v průmyslovém provozu nahrazovány platinovými čidly Pt100 případně Pt1000. Na obr. 1.19. jsou znázorněny teplotní charakteristiky těchto čidel.

Odporová čidla ze vzácných kovů

Vývody těchto čidel jsou ze speciálních slitin platiny, stříbra nebo mědi. Připojují se k vyhodnocovacím obvodům, které jsou spojeny s další logikou jako například mikropočítač. U odporového čidla Pt1000 jsou první dvě písmena označení chemického prvku Pt (platina) a číslo 1000 je pak hodnota odporu při 0 °C. Dvou vodičové zapojení čidla Pt1000 se doporučuje použít na kratší vzdálenosti, třívodičové zapojení kompenzuje vzdálenost vedení do 100 m, viz obr. 1.20. U čtyřvodičového zapojení je vedení složeno ze dvou napěťových a dvou proudových vodičů. Měří se pak úbytek napětí na měřicím odporu napájeném konstantním proudem. Vliv odporu vnitřního vedení je vyloučen. Čtyřvodičové zapojení se používá pro přesné měření, u kterého nezáleží na délce přívodních vodičů, viz obr. 1.21.



Obr. 1.20 - Třívodičové zapojení (Beneš, 2012)



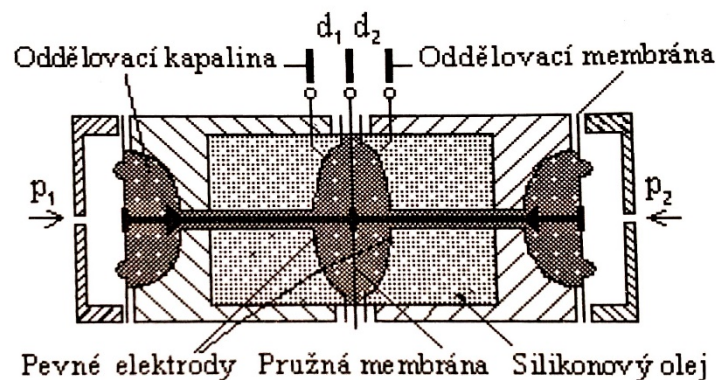
Obr. 1.21 - Čtyřvodičové zapojení (Beneš, 2012)

1.6.4 Tlak v mazací soustavě

Membránové snímače tlaku

Tlak v mazací soustavě se pohybuje od 0,5 do 1,5 MPa. Pro tuto aplikaci měření se často používají snímače tlakové diference, které pracují většinou na principu pružné membrány, zřídka vlnovce. V případě měření oleje jde o působení tlaku na membránu. Jako referenční tlak se bere atmosférický tlak, který se přivádí s přívodními vodiči čidla. (Beneš, 2012; Beneš, 2014).

Na obr. 1.22 je znázorněn snímač tlakové diference pracující na principu změny kapacity diferenciálního kondenzátoru. Tlaky p_1 a p_2 , jejichž rozdíl se měří přes oddělovací membránu a kapalnou náplň na pružnou membránu, která se v osovém směru deformuje na jednu nebo druhou stranu úměrně tlakové diferencii. Pružná membrána tedy mění poměr kapaliny a tím pádem vzdálenost elektrod a tím změnu kapacity (Beneš, 2012).



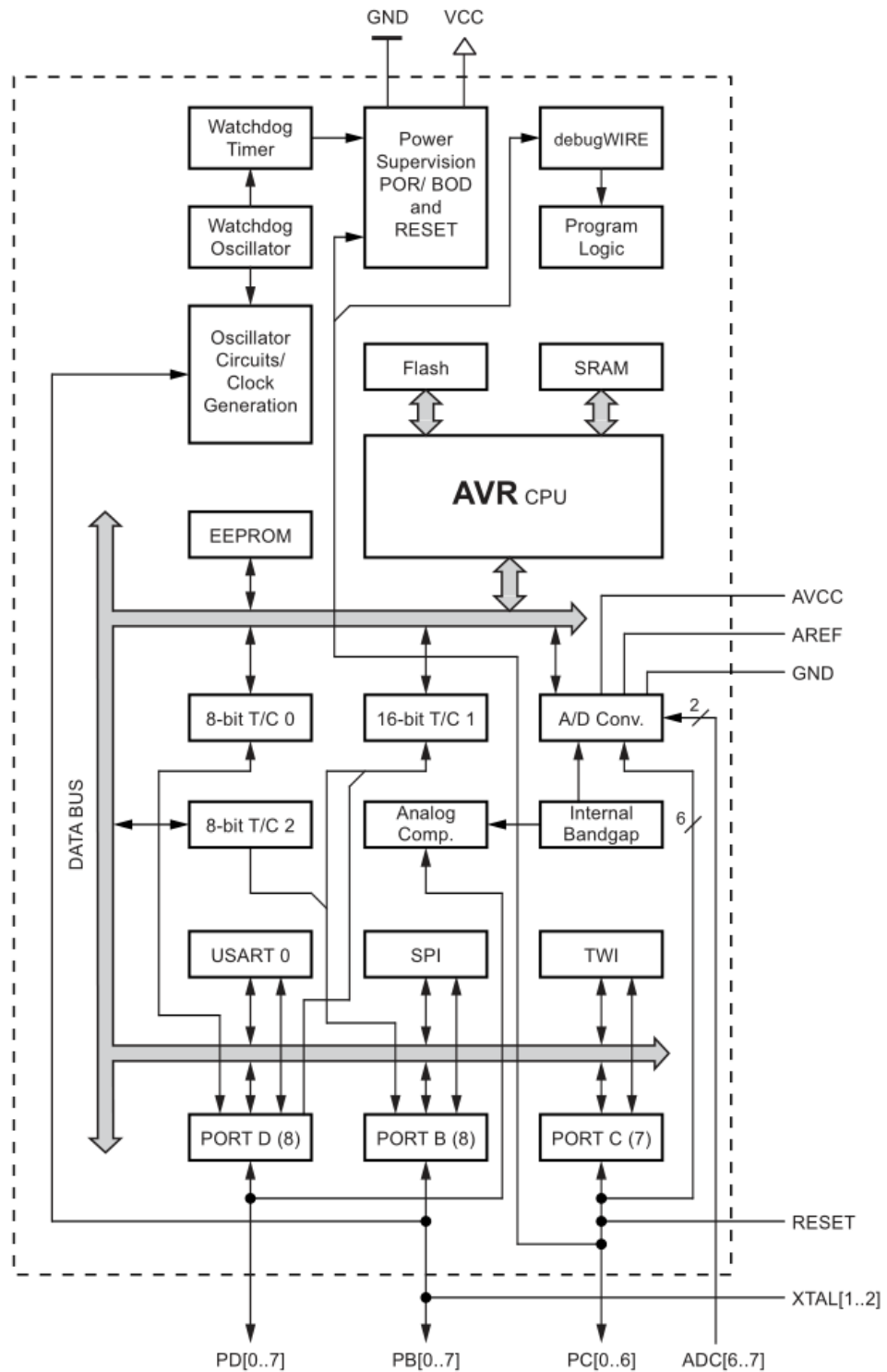
Obr. 1.22 - Membránový snímač tlakové diference (Beneš, 2012)

1.7 MIKROPOČÍTAČ ATMEGA328P

1.7.1 Vlastnosti mikropočítače ATmega328P

Jednočipový osmibitový mikrokontrolér ATmega328P je mikropočítač z rodiny AVR. Zkratka AVR je odvozena z křestních jmen vývojářů firmy Atmel Corporation, kteří jsou zodpovědní za první mikropočítač z rodiny AVR, s přidáním písmena „R“ což je první písmeno zkratky redukované instrukční sady (Alf (Egil Bogen) and Vegard (Wollan) 's Risc processor") (General AVR info, nedatováno).

AVR architekturu mikropočítačů vyvíjela a prodávala firma Atmel Corporation pro svoje mikropočítače. V roce 2016 firmu Atmel Corporation zakoupila firma Microchip Corporation, která produkty firmy Atmel Corporation z rodiny AVR dále vyrábí a prodává.



Obr. 1.23 - Blokové schéma mikropočítače ATmega328P (Atmel corporation, 2015)

Mikropočítač ATmega328P obsahuje tzv. harvardskou architekturu, která na rozdíl od Von Neumannovy odděluje paměťový prostor pro data a pro program. Využívá redukovanou instrukční sadu tzv. RISC (Reduced Instruction Set Computer), která se vyznačuje vykonáním většiny instrukcí v jednom hodinovém cyklu, ale např. u instrukcí CALL, RET a RETI musí

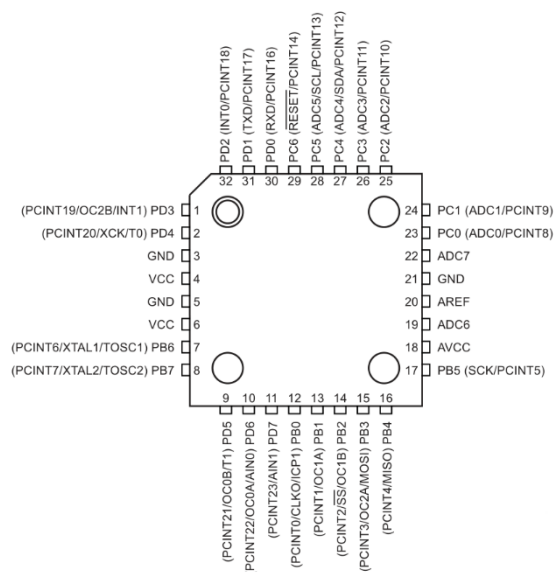
hodinový cyklus proběhnout čtyřikrát. (MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED, 2016; Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

ATmega328P se dále vyznačuje nízkým příkonem a relativně vysokým výkonem (16 MIPS při 16 MHz). Jeho instrukční sada obsahuje celkem 131 instrukcí. ATmega328P má k dispozici 32 registrů o délce 8 bitů a disponuje třemi typy pamětí, a to dvou pro paměť dat (SRAM a EEPROM) a třetí typu FLASH pro paměť programu. Z dalších vybraných vlastností ATmega328P obsahuje dva osmibitové čítače/časovače, jeden šestnáctibitový čítač/časovač, šest kanálů pro pulzní šířkovou modulaci, osm kanálů A/D převodníku s rozlišením deset bitů, programovatelnou sériovou linku USART, programovatelný watchdog časovač, propracovanou obsluhu přerušení (interní i externí) a analogový komparátor. Blokové schéma mikropočítače ATmega328P je znázorněný na obr. 1.23 (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Mikropočítač ATmega328P je dostupný v pouzdrech typu TQFP (Thin Quad Flat Package) a MLF (Micro Lead Frame, někdy uváděno jako MLP – Micro Leadframe Package), což jsou miniaturní pouzdra typu SMD (Surface Device Mount). V této práci se dále budu zabývat pouzdem typu TQFP (Thin Quad Flat Pack, nedatováno, Záhlava, 2010).

1.7.2 Popis vývodů pouzdra typu TQFP

Pouzdro TQFP je pouzdro čtvercového tvaru a na každé straně má 8 vývodů, dohromady tedy 32 vývodů. Toto pouzdro je zobrazeno na obr 1.24.



Obr. 1.24 - Pouzdro TQFP s označením vývodů (Atmel corporation, 2015)

Tab. 1.1 - Stručný popis vývodů ATmega328P

Číslo vývodu	Název vývodu	Doporučené použití	Popis vývodu
1	PD3	INT1, OC2B	přerušeni 1, porovnání výstupu z čítače/časovače 2
2	PD4	XCK, T0	externí hodinový signál pro USART, zdroj časovače 0
3	GND	-	0 V, uzemnění
4	VCC	-	napájecí napětí (max 5 V)
5	GND	-	0 V, uzemnění
6	VCC	-	napájecí napětí (max 5 V)
7	PB6	XTAL1	vývod pro připojení externího oscilátoru
8	PB7	XTAL2	vývod pro připojení externího oscilátoru
9	PD5	OC0B, T1	porovnání výstupu z čítače/časovače 0, zdroj časovače 1
10	PD6	OC0A, AIN0	porovnání výstupu z čítače/časovače 0, vstup analogového komparátoru 0
11	PD7	AIN1	vstup analogového komparátoru 1
12	PB0	CLKO, ICP1	výstup hodinového signálu, zachycování signálu pro čítač/časovač 1
13	PB1	OC1A	porovnání výstupu z čítače/časovače 1
14	PB2	SS, OC1B	porovnání výstupu z čítače/časovače 1
15	PB3	OC2A, MOSI	porovnání výstupu z čítače/časovače 2, SPI master výstup (slave vstup)
16	PB4	MISO	SPI master vstup (slave výstup)
17	PB5	SCK	hodinový signál pro SPI komunikaci
18	AVCC	-	napájecí napětí pro interní A/D převodník
19	ADC6	-	A/D převodník 6
20	AREF	-	externí referenční napětí pro A/D převodník
21	GND	-	0 V, uzemnění
22	ADC7	-	A/D převodník 7
23	PC0	ADC0	A/D převodník 0
24	PC1	ADC1	A/D převodník 1
25	PC2	ADC2	A/D převodník 2
26	PC3	ADC3	A/D převodník 3
27	PC4	ADC4	A/D převodník 4
28	PC5	ADC5	A/D převodník 5
29	PC6	RESET	resetovací vstupní vývod
30	PD0	RXD	příjímací (vstupní) vývod USART
31	PD1	TXD	odesílací (výstupní) vývod USART
32	PD2	INT0	přerušeni 0

1.7.3 Jádro mikropočítače

Mezi hlavní funkce jádra mikropočítače patří zajistit správné vykonávání programu, správný přístup do paměťových oblastí při vykonávání programu, správné vykonávání výpočtů a korektní obsluhu přerušení. Mezi hlavní komponenty jádra mikropočítače patří aritmeticko-logická jednotka, řadič, vstupně-výstupní jednotky (registry) a paměti dat a paměť programu (instrukcí) (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Aritmeticko-logická jednotka

Aritmeticko-logická jednotka se označuje zkratkou ALU a je přímo spojena s obecně účelnými pracovními registry, které popíšu podrobně v kapitole 3.1.4. ALU v rámci jediného hodinového cyklu provádí aritmetické, logické a bitové operace na registrech a mezi registry. Je to výpočetní mozek mikropočítače (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Řadič

Je-li ALU výpočetní částí mozku, řadič s dekodérem instrukcí je pak částí řídicí. Řadič pracuje na základě připravených instrukcí, které čte z paměti programu. Instrukční registr vstupuje do dekodéru instrukcí, který instrukční kód rozdělí na dvě části (adresní část a operační znak) a takto předzpracovaná instrukce se dostane do řadiče. Dále do řadiče vstupuje i hodinový signál kvůli synchronizaci. Řadič je několikastavový konečný automat, který na základě instrukčního kódu z dekodéru generuje v každém taktu n-bitový vektor. Tento vektor pak řídí všechny další bloky jádra. (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Registry

ATmega328P má tzv. registrové pole sloužící jako speciální paměť o 32 registrech s délkou 8 bitů. Tyto obecně účelné (general purpose) registry jsou znázorněny na obr 1.25 a se značí R0 až R31. Použití registrů výrazně zjednodušuje zápis programu a zvyšuje rychlost jeho provádění. ATmega328P umí pracovat i se šestnáctibitovými registry, a to spojením dvou osmibitových registrů, kde jeden je nižších 8 bitů a druhý je vyšších 8 bitů. Tyto ukazatele na

registry slouží hlavně pro nepřímou adresaci a nazývají se X, Y, Z. (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

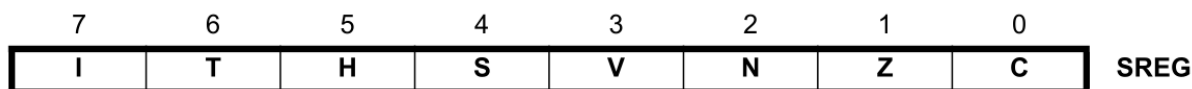
7	0	Addr.	
R0		0x00	
R1		0x01	
R2		0x02	
...			
R13		0x0D	
R14		0x0E	
R15		0x0F	
R16		0x10	
R17		0x11	
...			
R26		0x1A	Nižších 8 bitů registru X
R27		0x1B	Vyšších 8 bitů registru X
R28		0x1C	Nižších 8 bitů registru Y
R29		0x1D	Vyšších 8 bitů registru Y
R30		0x1E	Nižších 8 bitů registru Z
R31		0x1F	Vyšších 8 bitů registru Z

Obr. 1.25 - Obecně účelné registry R0 až R31 (Atmel corporation, 2015)

Stavový registr

Stavový registr (SREG) je osmibitový registr, který obsahuje 8 příznaků. Celý registr je zobrazen na obr. 1.26 a mezi nejpoužívanější příznaky patří:

- aktivace globálního přerušení, značí se I (Interrupt),
- příznak negativního výsledku operace, značí se N (Negative),
- příznak nulového výsledku operace, značí se Z (Zero),
- příznak přenosu nebo výpůjčky bitu např. při sčítání dvou čísel, jejichž výsledek v desítkové soustavě je větší než 255, značí se C (Carry) (Atmel corporation, 2015).



Obr. 1.26 – Stavový registr (Atmel corporation, 2015)

Programový čítač (Program Counter)

Dalším speciálním typem registru je programový čítač, který adresuje instrukce strojového kódu v operační paměti. Provedením instrukce s délkou jednoho slova se hodnota programového čítače zvýší o 1. Díky tomu se dají v programu provádět skoky. Adresa skoku

se uloží do programového čítače a po provedení podprogramu, který jsme skokem vyvolali, se zase vrátí na místo v programu před skokem (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Vstupně-výstupní registry (I/O-Ports)

Mezi další části mikropočítače patří vstupně-výstupní porty. Tyto porty se u ATmega328P označují písmeny B, C a D. U každého z těchto portů jsou alokované tři adresy v paměti, respektive tři základní možnosti nastavení portů. Tyto instrukce jsou DDRB a PORTB. Jejich kombinace použití je znázorněno v tab. 1.2 na portu B (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Tab. 1.2 - Všechny možnosti nastavení portů

DDB n	PORTB n	Vstup / Výstup	Pull-Up	Poznámka
0	0	Vstup	Ne	Vstup bez pull-up rezistoru
0	1	Vstup	Ano	Vstup s pull-up rezistorem
1	0	Výstup	Ne	Výstup na portu, neaktivováno
1	1	Výstup	Ne	Výstup na portu, aktivováno

Jako třetí je nastavovací registr PINxn, který používáme pro čtení stavu vývodu pro následné vyhodnocení. Tímto způsobem lze např. snímat stisknutí tlačítka. Tento způsob snímání stisku tlačítka je u mikropočítačů považován za nesprávný. Správný způsob by bylo použití externího přerušení, které by snímalo naběžnou hranu na daném vývodu a spuštěním obsluhy přerušení by aktivovalo na příslušném portu logickou úroveň. Použití přerušení v tomto případě je zároveň ošetření proti zákmitu tlačítka (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Zásobník

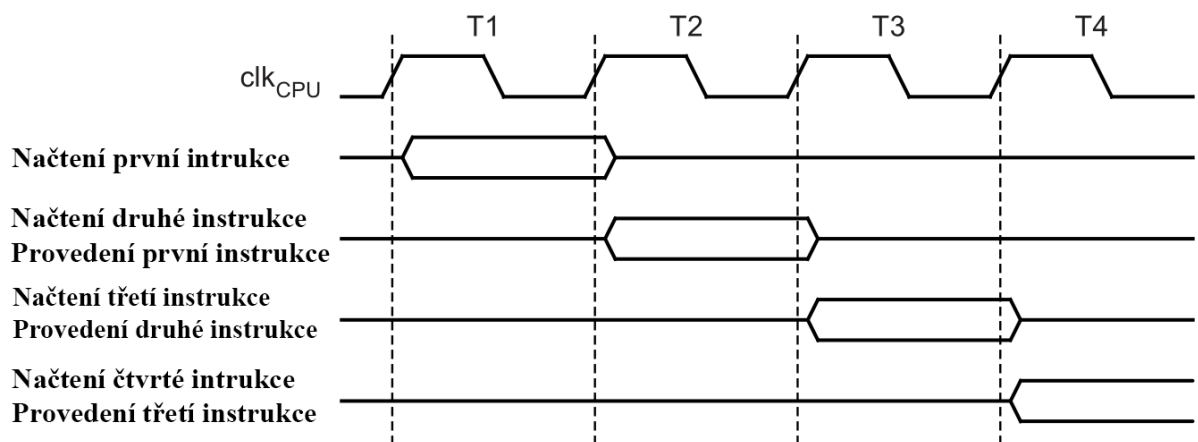
Zásobník u ATmega328P musí být definovaný programátorem a je fyzicky umístěn v datové paměti SRAM. Používá se k ukládání registrů a pro pozdější obnovování jejich hodnot. Dále ho používá řadič, který do něj uloží návratovou adresu běžícího programu, než zavolá podprogram, aby následně věděl, kam se po vykonání podprogramu vrátit. ATmega328P má zásobník typu LIFO (Last In First Out), což znamená, že poslední hodnota uložena do zásobníku se z něj získá jako první (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Ukazatel na vrchol zásobníku

Ukazatel na vrchol zásobníku (Stack Pointer) je až šestnáctibitový speciální registr. Jde o složení dvou osmibitových registrů (SPH a SPL). Instrukce, které se používají k manipulaci s vrcholem zásobníku, jsou např. PUSH (snižuje hodnotu ukazatele o 1) a POP (zvyšuje hodnotu ukazatele o 1) (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Časování vykonávání instrukcí

O správné časování instrukcí se u mikro počítače ATmega328P stará generátor hodinového cyklu, kdy jeden strojový cyklus odpovídá právě hodinovému cyklu. Ke generaci cyklu se používá buď interní 8 MHz RC oscilátor, nebo externí krystalový až 16 MHz oscilátor. ATmega328P používá velmi účinný předvýběr (načtení) instrukce a tím se realizuje tzv. pipelining (řetězení instrukcí). Pipelining je znázorněn na obr. 1.27. Z paměti programu se nejdříve načte první instrukce v prvním cyklu, v druhém cyklu se provede první instrukce a načte druhá instrukce, ve třetím cyklu se provede druhá instrukce a načte se třetí a tak dále (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).



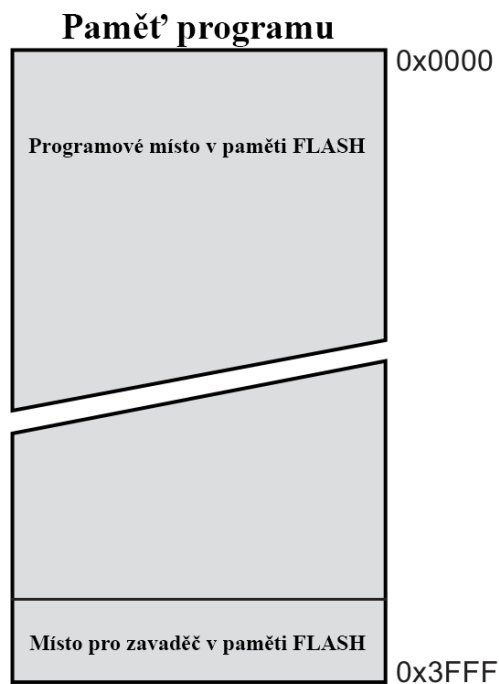
Obr. 1.27 - Vykonávání instrukcí u mikro počítače ATmega328P

1.7.4 Paměti mikro počítače ATmega328P

ATmega328P má díky harvardské architektuře, paměti dat a paměť programu od sebe oddělenou. Výhodou této skutečnosti je, že nelze přepsat paměť programu jinak než samotným programem, který běží na mikro počítači. Nyní budou popsány jednotlivé paměti obsažené v mikro počítači ATmega328P (Atmel corporation, 2015).

FLASH – paměť programu

Paměť programu je opětovně programovatelná až 10 000×, má velikost 32 kB, je typu FLASH a je organizována jako 16 k×16 bitů. Paměť programu je u ATmega328P dále rozdělena na zavaděč (bootloader), který se provede ihned po spuštění mikropočítače (nebo po vyvolání funkce reset) a má za úkol připravit mikropočítač pro spuštění samotného programu, který je právě v druhé části paměti programu, viz obr. 1.28 (Atmel corporation, 2015).

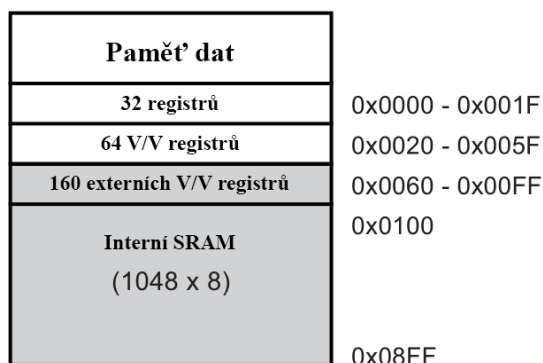


Obr. 1.28 – Paměť programu u ATmega328P

SRAM – paměť dat

Datová paměť je tvořena statickými buňkami paměti typu SRAM. Paměť začíná 32 bajty, které odpovídají registrovému poli (R0-R31). Následuje 64 vstupně-výstupních registrů pro řízení periférií. Poslední blok paměti je interní SRAM a má velikost 1 k · 8 bitů, zbývající velikost bloku má tedy 1 kB z celkové velikosti 2 kB paměti SRAM. Tato paměť je volatilní

(po odpojení napájení se její obsah nenávratně vymaže). Na obr. 1.29 je znázorněna struktura datové paměti mikropočítače ATmega328P. (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).



Obr. 1.29 – Paměť dat u ATmega328P

EEPROM – paměť dat

Mikropočítač ATmega328P kromě uvedených pamětí pro program a pro data disponuje pamětí EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) o velikosti 1 KB. Je organizována jako oddělený datový prostor, do kterého je možné zapisovat nebo číst celé bajty. Její výdrž je 100 000 cyklů zápisu nebo výmazu dat. Zápis do této paměti je pomalejší než do interní SRAM paměti, protože se musí dodržet sekvence instrukcí, aby se data správně uložila (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Registry, které se musí nastavit pro správnou funkci, jsou adresový registr EEPROM, datový registr EEPROM a kontrolní (řídící) registr EEPROM. Přístup do EEPROM se pohybuje kolem 3,4 ms při vymazání a zápisu v jedné operaci, která však musí být atomická (tedy nedělitelná). Pouze zápis nebo pouze vymazání dat pak trvá 1,8 ms. Hlavní výhodou paměti EEPROM oproti paměti SRAM je, že je nevolatilní, a tedy po odpojení napájení v paměti EEPROM data zůstanou. Používá se např. pro konfiguraci, u které je žádoucí, aby se po vypnutí a zapnutí mikropočítače nevymazala (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

1.7.5 Reset a další přerušení

Reset mikropočítače je signál, který slouží k jeho rozběhu od počáteční adresy v paměti (\$0000). Tímto signálem zajišťujeme inicializaci mikropočítače. Vektor resetu přerušení je jediné přerušení, které lze vyvolat bez nastavení bitu přerušení (I) ve stavovém registru (SREG). Kromě externího vývodu pro reset v mikropočítači máme k dispozici k nastavení tzv. BOD

a WDT. Je-li BOD v programu aktivován programátorem, spustí vektor reset mikropočítače, dojde-li k poklesu napájení pod stanovenou hladinu napětí. Hladina napětí se nastavuje pomocí tzv. pojistek mikropočítače. WDT, je speciální typ časovače, který se programátorem nastavuje pro plánovaný reset programu po uběhnutí stanovené doby. WDT pomáhá mikropočítači, aby se jeho program dostal z místa, ze kterého se sám bez reinicializace nedostane. Je vhodné ho používat jakožto další formu pojistky, aby program a mikropočítač vykonávali správnou činnost, pro kterou jsou v dané konfiguraci zamýšleny (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Přerušovací systém je jeden z nejdůležitějších konceptů implementovaný do mikropočítačů. Zjednodušeně si jeho funkci můžeme představit tak, že vykonáváme-li pilně danou činnost (1), kterou jsme nuceni přerušit. Z toho název přerušení, abychom vykonali činnost (2) jinou a po dokončení této činnosti (2) se zase vrátili k dokončení činnosti (1) původní. Vzhledem k možné náročnosti programu mohou nastat situace, kdy se ve stejném okamžiku sejdou požadavky na přerušení ze dvou a více zdrojů. Priorita, která je nastavena hardwarově, a tak ji nelze konfigurovat, se určuje podle umístění adresy v paměti, přičemž nejnižší místo adresy v paměti (\$0000) má vektor resetu přerušení. Čím vyšší adresa, tím nižší priorita. Kompletní přehled vektorů přerušení u ATmega328P jsou popsány v tab. 1.3 (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Tab. 1.3 - Zdroje přerušení

Číslo vývodu	Adresa v paměti	Zdroj	Popis přerušení
1	0x0000	RESET	externí vývod pro reset, BOD reset a WD reset
2	0x0002	INT0	externí přerušení 0
3	0x0004	INT1	externí přerušení 1
4	0x0006	PCINT0	přerušení generující změnu na pinu přerušení 0
5	0x0008	PCINT1	přerušení generující změnu na pinu přerušení 1
6	0x000A	PCINT2	přerušení generující změnu na pinu přerušení 2
7	0x000C	WDT	přerušení generující watchdog časovač
8	0x000E	T2: COMPA	porovnávání obsahu čítače / časovače 2 s hodnotou A v příslušném registru
9	0x0010	T2: COMPB	porovnávání obsahu čítače / časovače 2 s hodnotou B v příslušném registru

Tab 1.3 – Zdroje přerušení, pokračování

Číslo vývodu	Adresa v paměti	Zdroj	Popis přerušení
10	0x0012	T2: OVF	příznak přetečení čítače / časovače 2
11	0x0014	T1: CAPT	snímání přicházejícího vstupu na vývod (input capture)
12	0x0016	T1: COMPA	porovnávání obsahu čítače / časovače 1 s hodnotou A v příslušném registru
13	0x0018	T1: COMPB	porovnávání obsahu čítače / časovače 1 s hodnotou B v příslušném registru
14	0x001A	T1: OVF	příznak přetečení čítače / časovače 1
15	0x001C	T0: COMPA	porovnávání obsahu čítače / časovače 0 s hodnotou A v příslušném registru
16	0x001E	T0: COMPB	porovnávání obsahu čítače / časovače 0 s hodnotou B v příslušném registru
17	0x0020	T0: OVF	příznak přetečení čítače / časovače 0
18	0x0022	SPI, STC	dokončení SPI sériového penosu
19	0x0024	USART, RX	dokončení Rx USART přenosu
20	0x0026	USART, UDRE	příznak prázdného datového registru USART
21	0x0028	USART, TX	dokončení Tx USART přenosu
22	0x002A	ADC	příznak dokončení A/D převodu
23	0x002C	EE READY	paměť EEPROM připravena
24	0x002E	ANALOG COMP	analogový komparátor
25	0x0030	TWI	dvouvodičová sériová sběrnice
26	0x0032	SPM READY	příznak uložení paměti programu

1.7.6 Periferie mikroočítače ATmega328P

Mikroočítač sám o sobě je zařízení propracované, ale pokud nemáme možnost k němu nic připojit nebo s jeho pomocí pracovat s dalšími zařízeními, je jeho funkce do značené míry omezená. Tato zařízení, jež nám rozšiřují možnosti práce, se obecně nazývají periferie jádra mikroočítače.

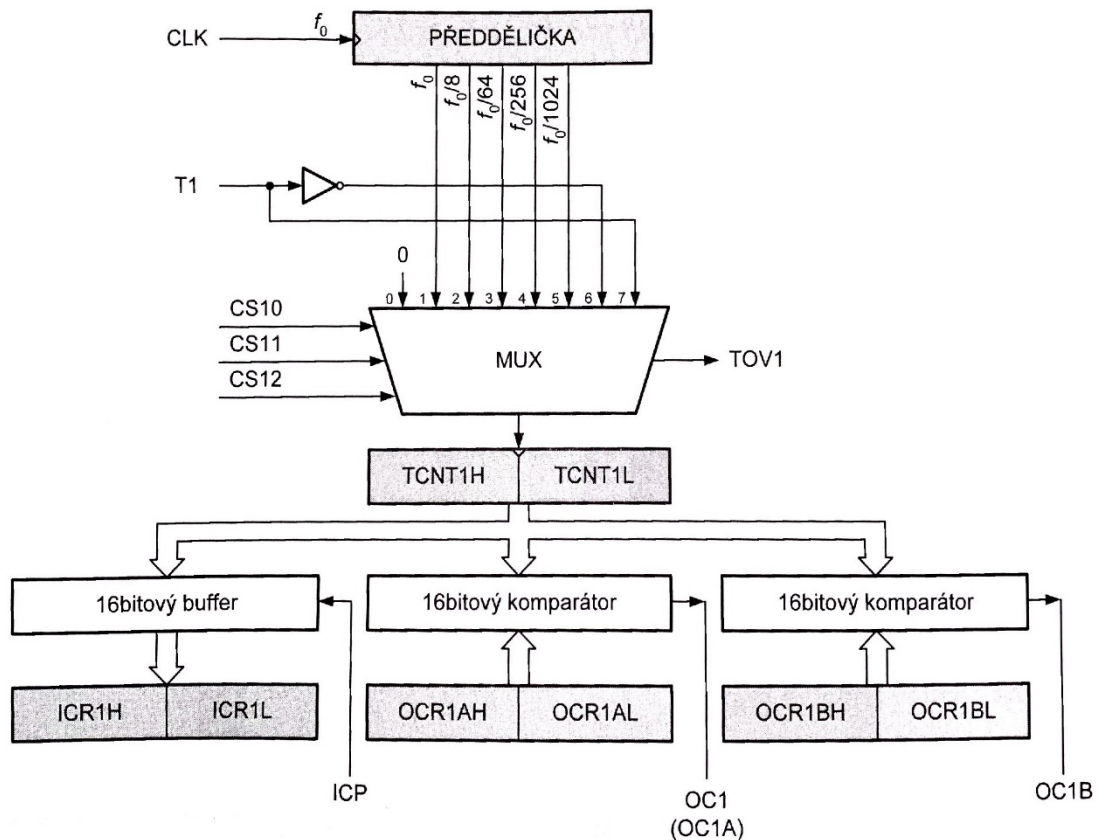
Čítač / časovač

Čítač je obvod, který čítá impulzy z vnějšího signálu. Měří se tak frekvence signálu. Časovač pak čítá neměnný kmitočet, odvozený z taktu zdroje hodinového signálu (krystalový oscilátor nebo interní RC oscilátor) mikropočítače. Po napočítání předem stanoveného počtu impulzů se odměří stanovený čas, neboť periodu známe a počet impulzů jsme právě zjistili. Každý časovač v sobě tedy má i čítač.

Čítače / časovače se používají pro odměřování času a měření frekvence signálů. Dokáží zachycovat i generovat signál pulzní šířkové modulace (PWM), který je také hojně používaný pro ovládání výkonu do akčních členů nebo třeba topných spirál. Např. u topné spirály se výkon nastavuje pomocí PWM v procentech od 10 do 90 % a znamená to, že v případě plného výkonu 90 % PWM bude výstup z vývodu za deset period průběhu 9 : 1 v logické 1 oproti logické 0 (Matoušek, 2006).

Čítače / časovače u ATmega328P

Mikropočítač ATmega328P má dva osmibitové čítače / časovače (0 a 2) a jeden šestnáctibitový čítač / časovač (1), který bude popsán blíže. Do čítače / časovače vstupuje hodinový signál, který vstupuje do tzv. předděličky. V předděličce se frekvence signálu může podělit čísly 8, 64, 256 a 1024. Tímto způsobem se může dosáhnout časování v řádu desítek ms po jednotky μ s. Blokové schéma čítače / časovače 1 je znázorněno na obr. 1.30 (Matoušek, 2006).



Obr. 1.30 - Čítač / časovač 1

Registry čítače / časovače 1

Čítač / časovač 1 se nastavuje kontrolním registrem TCCR1A a TCCR1B (Timer Counter Control Register 1 A/B), příznaky přerušení čítače / časovače 1 jsou uloženy v registru TIFR (Timer Interrupt Flag Register) a povolení přerušení se nastavuje v registru TIMSK (Timer Interrupt MaSK register) (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

Šestnáctibitový čítač / časovač 1 se realizuje pomocí dvou osmibitových registrů, přičemž jeden osmibitový registr je udáván jako dolní polovina šestnácti bitů a druhý jako jeho horní polovina. S registry se pracuje tak, že se horní polovina 16 bitového registru (TCNT1H) nahraje do pomocného registru TEMP a dolní polovina 16 bitového registru (TCNT1L) se zkombinuje s TEMP a tím se zapíše všech šestnáct bitů (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

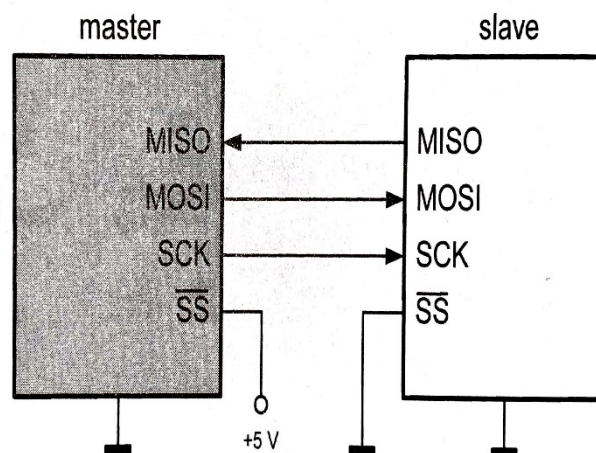
Čítač / časovač 1 podporuje mj. funkce Output Compare a PWM generátor. V Output Compare registru se porovnává hodnota OCR1A/B registru čítače a vývodu OC1A/B, nastavením čítače můžeme udávat například vynulování registru OC1A/B, pokud se porovnávané registry rovnají. U čítače / časovače 1 nastavíme 16 bitové registry (OCR1H

a OCR1L resp., OCR1AH a OCR1AL), aby pracovaly v součinnosti. Nastavené hodnoty registrů potom slouží pro vytváření PWM signálu přičemž čítač / časovač mění svůj režim mezi čítáním nahoru a dolů (Atmel corporation, 2015; Matoušek, 2006).

SPI

SPI (Serial Peripheral Interface) je komunikační protokol pro vysokorychlostní přenos dat mezi mikropočítačem a externími periferiemi. Jeho klíčové vlastnosti jsou plný duplex, třívodičové zapojení pro přenos dat, schopnost pracovat jako master (řídící obvod) nebo jako slave (řízený obvod), příznaky konce a kolize přenosu či programovatelná přenosová rychlost. Naznačení zapojení mezi řídicím a řízeným obvodem je znázorněný na obr. 1.31.

Zápis dat startuje hodinový signál (SCK) a data se z masteru putují ven vývodem MOSI (Master Out) a na stejném vývodu jsou pak data přijímána (Slave In). Když se takto přesune celý bajt, je generované přerušení (je-li povoleno ve stavovém registru), které značí převedený bajt.



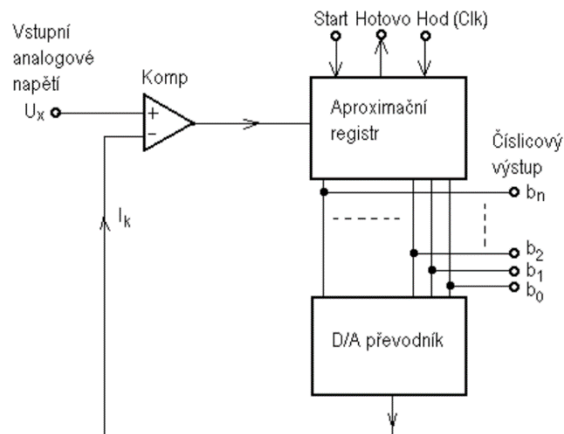
Obr. 1.31 - Propojení Master – Slave na sběrnici SPI

USART

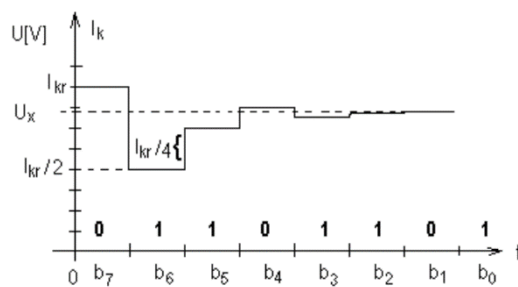
USART (Universal Synchronous / Asynchronous ReceiverReceiver and TransmitterTransmitter) je komunikační protokol, který je plně duplexní asynchronně a poloduplexní synchronně. Mezi klíčové vlastnosti patří nastavitelná a vysoká rychlost přenosu i při nízkých kmitočtech krystalu, délka znaku 8 nebo 9 bitů, filtrace šumu. Detekce chyb přenosu

a tři zvláštní přerušení (dokončení vysílání vysílání – TX, dokončení – přenosu – RX a vyprázdnění datového registru). Tímto protokolem můžeme komunikovat s velkým počtem externích obvodů, jako jsou čidla, popř. jiné speciální integrované obvody (externí A/D převodníky, GPRS a GPS modemy).

Analogově-digitální převodník



Obr. 1.33 - Zjednodušené schéma A/D převodníku s postupnou aproximací



Obr. 1.32 - Princip převodu u A/D převodníku s postupnou aproximací

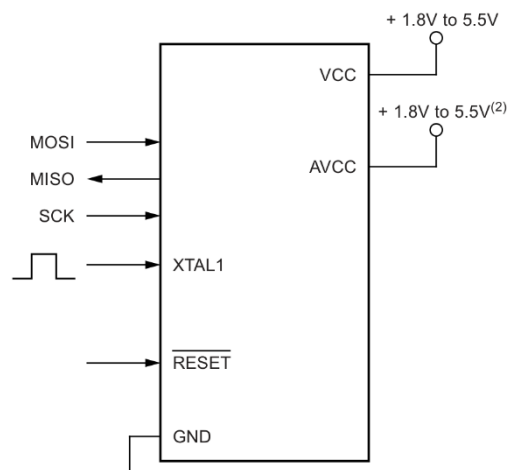
Analogový signál z čidel, který chceme zpracovat mikropočítačem ATmega328P, musíme převést na signál digitální. K tomuto účelu slouží analogově-digitální převodník (dále označovaný jako A/D převodník). Převodník s postupnou aproximací, který je použit u ATmega328P, má rozlišení deset bitů a funguje tak, že po odstartování převodu (signálem START) se v aproximačním registru nastaví MSB (Most Significant Bit) na logickou 1, takže hodnota celého registru je polovina rozsahu převodníku. Tato hodnota poloviny rozsahu

se převede D/A převodníkem zpět na komparátor a tato hodnota se porovná se vstupním napětím, které má být převedeno. Pakliže je toto vstupní napětí menší než generované D/A převodem, pak prvotní nastavení aproximačního registru bylo nadhodnoceno a je patrné, že výsledná hodnota bude menší než polovina rozsahu. Dále se tedy MSB vynuluje, aproximační registr nastaví druhý MSBit a vše se opakuje. Na konci rozhodování se vždy podle výstupu komparátoru příslušný bit ponechá nebo opraví. Na obr. 1.32 je znázorněné principiální schéma zapojení převodníku s postupnou aproximací a na obr. 1.33 je znázorněn průběh převodu.

Programování

Největší výhoda mikropočítačů je, že jsou programovatelné. ATmega328P se dá programovat buď jazykem symbolických adres (assembly language) nebo v jazyce C/C++. Programování samotného mikropočítače, resp. nahrávání programu do paměti, se u ATmega328P provádí dvěma způsoby, a to sériově nebo paralelně (Atmel Corporation, 2015).

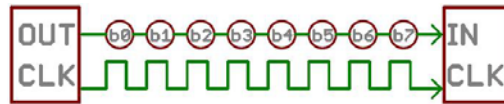
Sériové programování



Obr. 1.34 - Zapojení sériového SPI
programování mikropočítače ATmega328P

Při sériovém programování se používá sběrnice SPI, přičemž musí být vývod RESET přiveden na nulový potenciál, tedy na zem. Do mikropočítače je zapojen hodinový signál (SCK), vstup (MOSI) a výstup (MISO). Po připojení napájení je mikropočítač připraven přijmout programovací instrukce od programátora. V této konfiguraci stačí pro programování

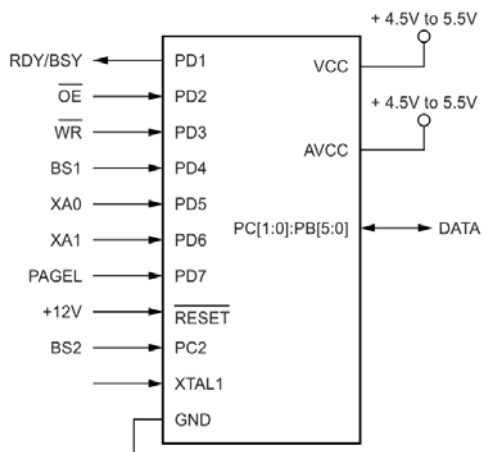
pouze tři vodiče a samotné napájení mikropočítače včetně vstupu hodin od krystalového oscilátoru. Sériová sběrnice se dále vyznačuje tím, že se data přenáší po jednom bitu, v rámci jednoho hodinového cyklu (Atmel Corporation, 2015).



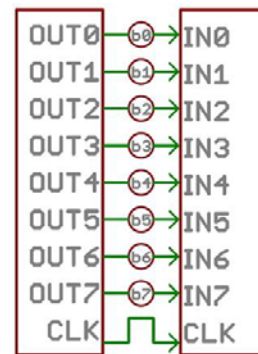
Obr. 1.35 - Naznačení sériového přenosu

Paralelní programování

Paralelní programování je rozdílné v tom, že přenáší celý bajt nebo slovo (dva bajty) v jednom hodinovém cyklu, jde-li o osmibitovou nebo šestnáctibitovou programovací sběrnici. Paralelní programování má rychlejší přenos dat, ale je náročné na počet přivedených vodičů a navíc je potřeba disponovat 12 V napájením. Zapojení mikropočítače je znázorněno na obr. 1.36 a naznačení paralelního přenosu potom na obr. 1.37.



Obr. 1.37 - Zapojení paralelního programování



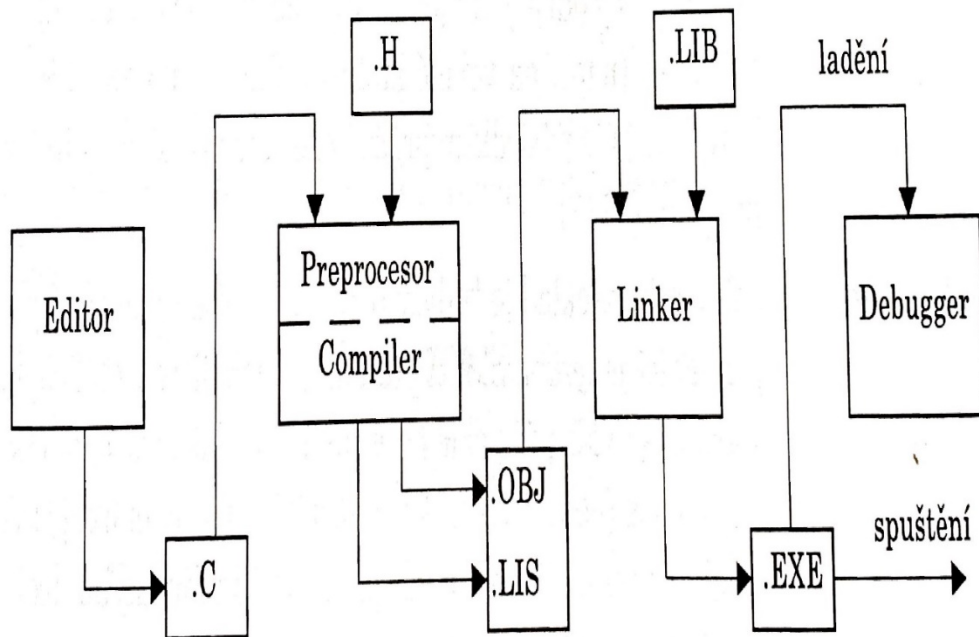
Obr. 1.36 - Naznačení paralelního přenosu

Jazyk symbolických adres

Jazyk symbolických adres, také nazývaný assembler, je jazyk nízké úrovně a jeho instrukce pracují přímo i nepřímo s paměťovým prostorem. Práce se bude zabývat pouze jazykem C v kombinaci s jazykem C++.

Jazyk C a C++

Jazyk C se považuje za univerzální jazyk nižší úrovně. Byl navržen a implementován pod operačním systémem UNIX a celý UNIX je v něm napsán. Jeho autory jsou Brian Wilson Kernighan a Denis MacAlistar Ritchie. Překladač mikropočítačů z rodiny AVR se skládá z několika kroků. Po napsání programu v jazyce C nebo C++, je kód zkompilován (přeložen) do relativního kódu. V obou případech (C/C++) se pro překlad používá kompilátor *avr-gcc*. Následně je sestaven a z relativních adres, jímž se přidělí absolutní adresy společně s vyhledáním všech odkazů na dosud neznámé identifikátory. Výsledkem sestavení je tzv. ELF program (Exutable and Linkable Format), který se už konvertuje na soubor s příponou hex. Program ve formátu hex se poté nahrává do mikropočítače. Zmíněný proces překladač kódu je naznačen na obr. 1.38 (Herout, 2003).



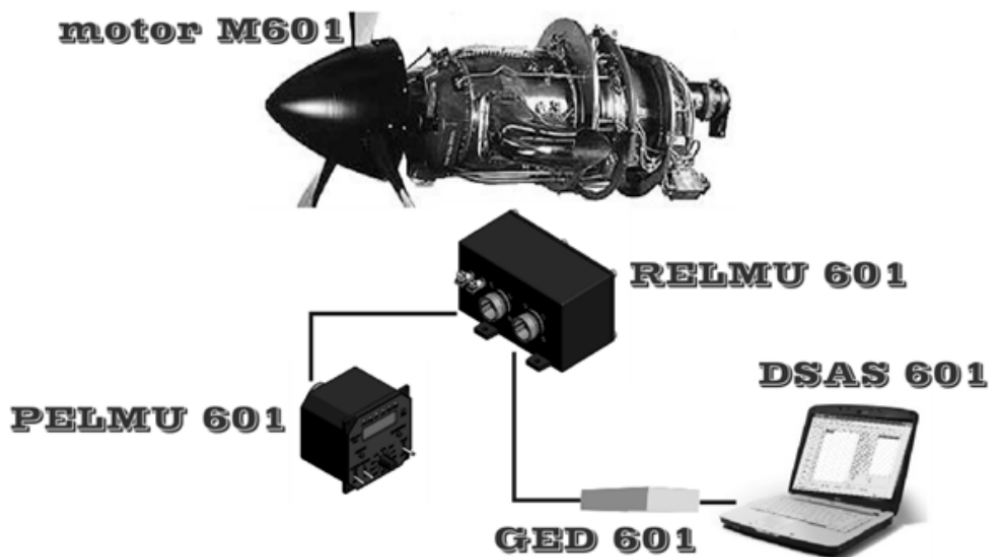
Obr. 1.38 - Proces vytváření spustitelného programu z kódu jazyka C (Herout, 2003)

1.8 KOMERČNĚ VYRÁBĚNÉ MONITOROVACÍ JEDNOTKY

Na trhu je dnes opravdu široká škála různých měřících zařízení i monitorovacích přístrojů. Některé se vyrábí jako kompletní výrobek pro aplikaci na jeden typ motorů. Další možností jsou univerzální a modulární programovatelné automaty (PLC), ke kterým se připojí vstupní rozšiřující karty, do kterých se přivedou čidla a z pravidla se k PLC připojuje ještě zobrazovací jednotka ve formě LCD displeje, resp. HMI panelu.

1.8.1 Diagnostický systém ELMS 601

U leteckého (turbínového) motoru M601 od firmy Walter ENGIES a.s. je možné monitorovat pracovní parametry pomocí jednotky ELMS 601. Záznamová jednotka se skládá ze dvou hlavních částí. Jedná se o samotnou monitorovací jednotku (RELMU 601), do které jsou připojeny signály z motoru M 601 a o zobrazovací a ovládací jednotku (PELMU 601). Dále je možné pomocí datového kabelu (GED 601), který je pouze převodník USB na RS232, připojit RELMU 601 k počítači. Zaznamenané hodnoty lze poté vyhodnotit za pomoci SW DSAS 601, který je napsaný přímo na míru měření motoru M 601. Systém provádí výpočet do ukončení doby životnosti motoru. Sledovanými parametry jsou například hlavní hřídel, zadní hřídel, disk volné turbíny a kolo radiálního kompresoru. Výrobce systému je firma MESIT a označení zapojení systému je znázorněno na obr. 1.39 (OPROX, a.s. 2008; Řídicí jednotky pro řízení a monitorování agregátu, nedatováno).



Obr. 1.39 - Blokové schéma systému ELMS 601 (Řídicí jednotky pro řízení a monitorování agregátu, nedatováno)

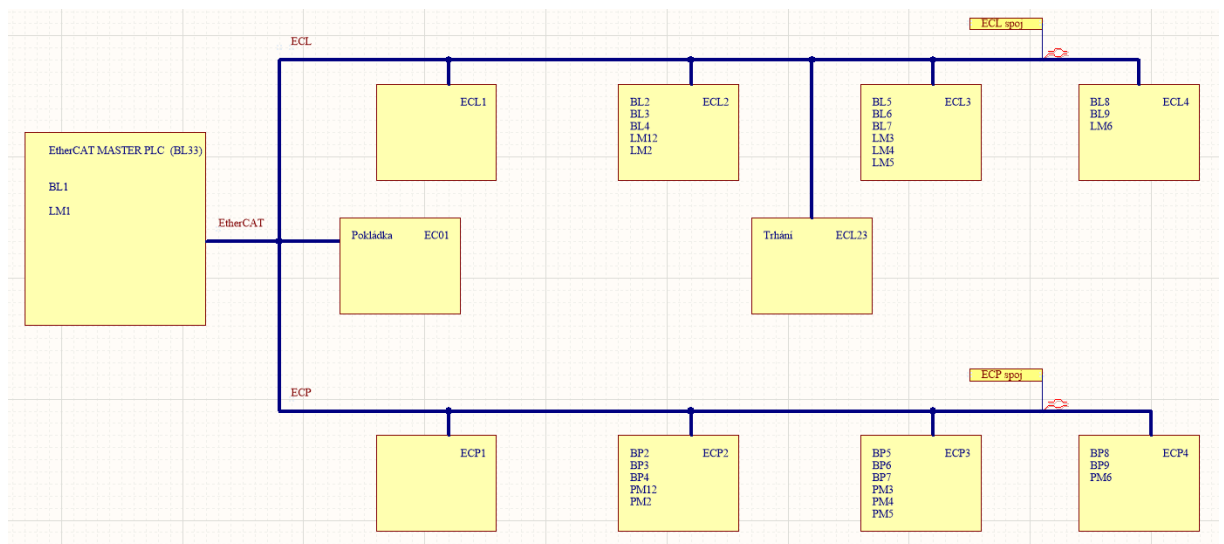
1.8.2 Programovatelné automaty

IDEC Microsmart FC6A

Programovatelné automaty, jinak nazývané PLC (Programmable Logic Controller), se dají doplnit o rozšiřující moduly, do kterých se připojí příslušná čidla. Po přidání ještě HMI panelu a určité míry programování můžeme jednoduše z modulů sestavit monitorovací jednotku. Jako řídicí prvek můžeme použít PLC firmy IDEC s označením Microsmart FC6A, který má možnost rozšíření až do 520 digitálních vstupů / výstupů. Po připojení vhodných rozšiřujících modulů lze tento automat použít na monitorování motorů popř. pracovního stroje včetně motoru (*Modulární PLC – FC6A*, nedatováno).

BECKHOFF CX8190

Tyto automaty jsou velice podobné, co se týče rozšíření, jako od firmy IDEC, ale velmi zdařilý je systém komunikace mezi uzly. EtherCAT je komunikační protokol, který umožňuje spojit až 65 536 rozšiřujících uzlů. EtherCAT se za poslední dekádu stal jedním z nejpoužívanějších protokolů v průmyslové automatizaci založených na Ethernetu. Příklad zapojení rozvaděčů komunikující spolu přes EtherCAT je uveden na obr. 1.40 (Figini, 2017).

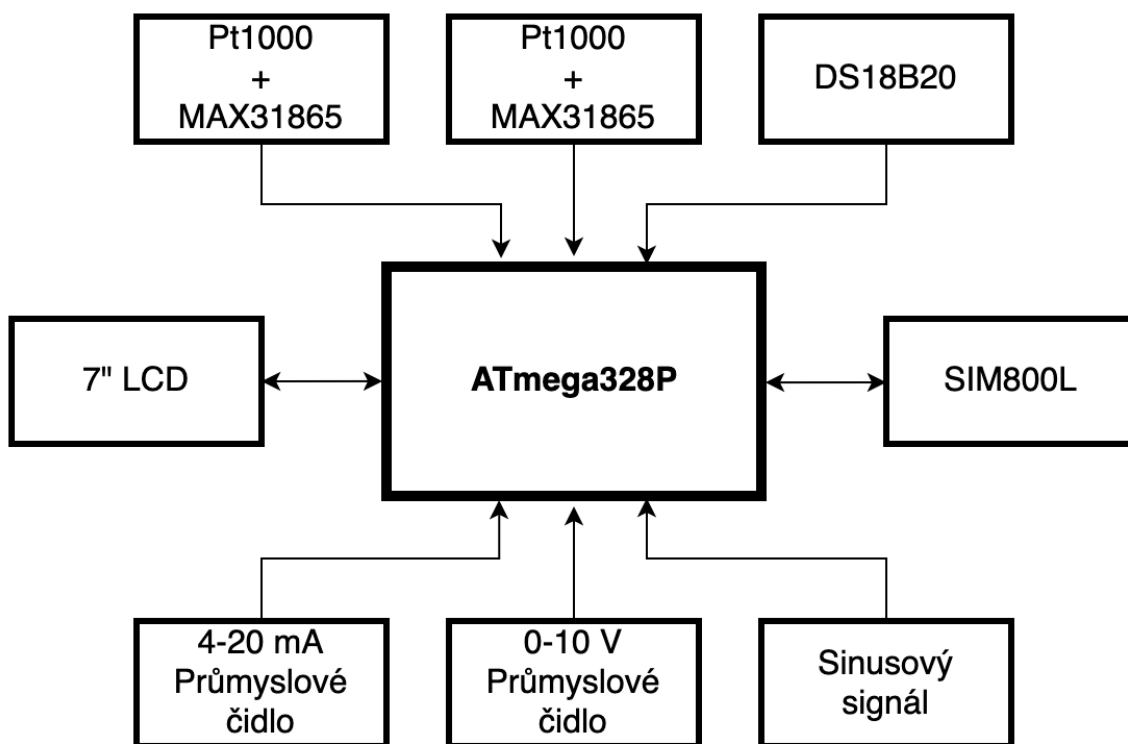


Obr. 1.40 - Ukázka zapojení automatů v rozvaděčích pomocí EtherCATu

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 NÁVRH A REALIZACE ELEKTRONICKÉ MONITOROVACÍ JEDNOTKY SPALOVACÍHO MOTORU

Cílem praktické části je zhotovení výrobku, který bude schopen snímat následující parametry spalovacího motoru. Jedná se o tři teplotní čidla, dvě tlaková čidla a měření otáček. V této části práce budu popisovat vlastní návrh konstrukce monitorovací jednotky spalovacího motoru, která bude založená na mikropočítači ATmega328P, sedmipalcovém LCD displeji a na snímačích různého typu. Použité snímače mají různý výstupní signál, abych poukázal na univerzální použitelnost mikropočítačů v řešení podobného zadání. Na obr. 2.1 je blokové schéma monitorovací jednotky.



Obr. 2.1 - Blokové schéma monitorovací jednotky

2.2 ŘÍDICÍ JEDNOTKA

Jako řídicí jednotka byl vybrán mikropočítač ATmega328P. Za testovací platformu jsem si zvolil vývojovou desku Arduino Uno, která je velmi podobná kitu EvB 5.1. Arduino Uno se odlišuje ve svém vlastním zavaděči, který umožňuje nahrát program přímo do paměti FLASH z vývojového prostředí Arduino IDE. Zavaděč zabírá 0,5 kB paměti FLASH.

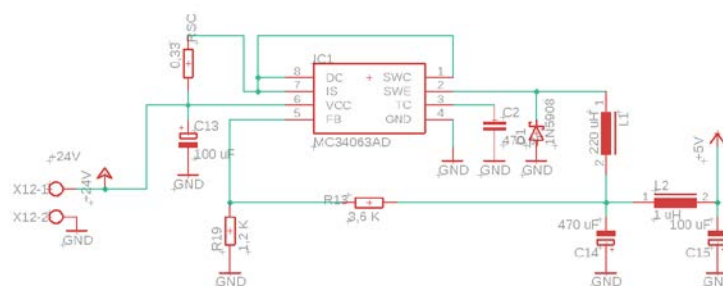
K mikro počítači se nedají připojit měřicí, popř. akční členy přímo a z toho důvodu je třeba navrhnout pomocné obvody. Tyto obvody slouží jak pro ochranu mikro počítače, tak pro vlastní propojení použitých komponent s mikro počítačem. Nejprve musí být mikro počítač napájen napětím, které deklaruje výrobce. K tomu slouží napájecí obvod. Poté napíšeme program, aby vykonával požadovanou činnost, a následně můžeme nahrát program do mikro počítače.

2.2.1 Napájecí obvody

V návrhu napájecích obvodů monitorovací jednotky používám dvě 5 V napájecí větve. První větev napájení je systémové napětí pro mikro počítač a všechny ostatní obvody, maximální odběr na této větvi je možný do 0,5 A. Druhá větev napájí SIM modul, jehož špičkový proud může dosahovat až 2 A.

Napájecí obvod 5 V/0,5 A

Na obr. 2.2 je realizován napájecí obvod pomocí integrovaného obvodu **MC34063**, jehož vstupní napětí je $1,2 \div 30$ V. Vzhledem k tomu, že monitorovací jednotka je navrhována na železniční stroj, bude se napájet z trakčních baterií, což je 24 V. Tato úroveň napětí je však nominální hodnota udávaná výrobcem, ale v provozu mají baterie napětí v rozmezí $24 \div 28$ V, dle toho, zda nedochází zároveň k nabíjení baterií. Baterie se nabíjí za pomoci alternátoru a usměrňovače. Výstupní napětí z alternátoru po usměrnění na stejnosměrný proud je $27 \div 29$ V, přičemž ideální nabíjecí napětí, deklarované výrobcem baterií, je u trakčních baterií 27,8 V. Z tohoto důvodu musíme do návrhu napájecího obvodu zahrnout variabilní snižovací měnič napětí z napětí do 30 V na úroveň 5 V.



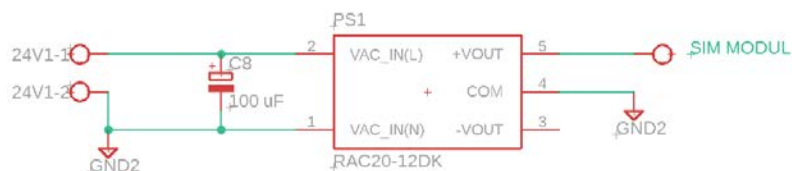
Obr. 2.2 - Napájecí obvod pomocí integrovaného obvodu
MC34063

Požadované výstupní napětí se nastavuje vhodným poměrem odporů R13 a R19, tedy dle vztahu:

$$U_{\text{výst}} = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_{13}}{R_{19}}\right) = 1,25 \cdot (1 + 3) = 5 \text{ V.} \quad (2.1)$$

Napájecí obvod 5 V/4 A

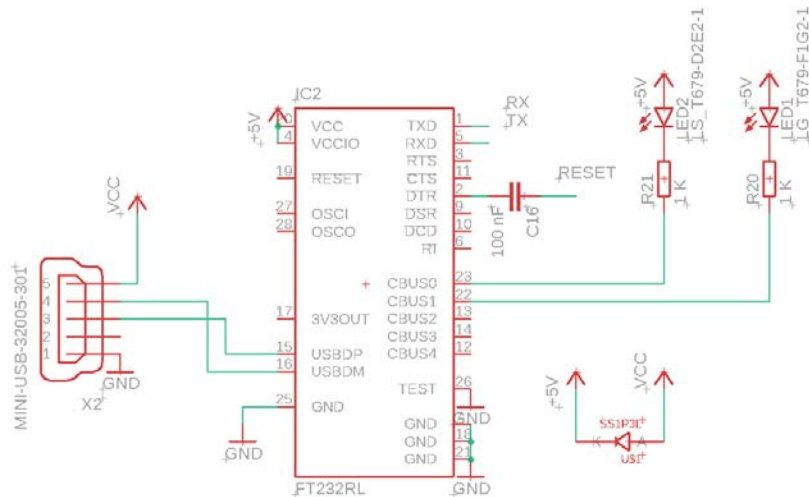
Na napájení komunikačního modulu používám integrovaný obvod, od firmy MEAN WELL, **RSDW20F-05**, jedná se o snižující napěťový měnič s rozsahem vstupního napětí $9 \div 36 \text{ V}$ a výstupním proudem až 4 A při 5 V, viz obr 2.3. Vstupní napětí pro tento modul bude také napětí z trakčních baterií. V případě odběru A7 modulu je špičkový proud 2 A, takže zmíněný měnič je plně dostačující.



Obr. 2.3 - Napájecí obvod pomocí integrovaného obvodu RSDW20F-05

2.2.2 Programovací obvod mikropočítače

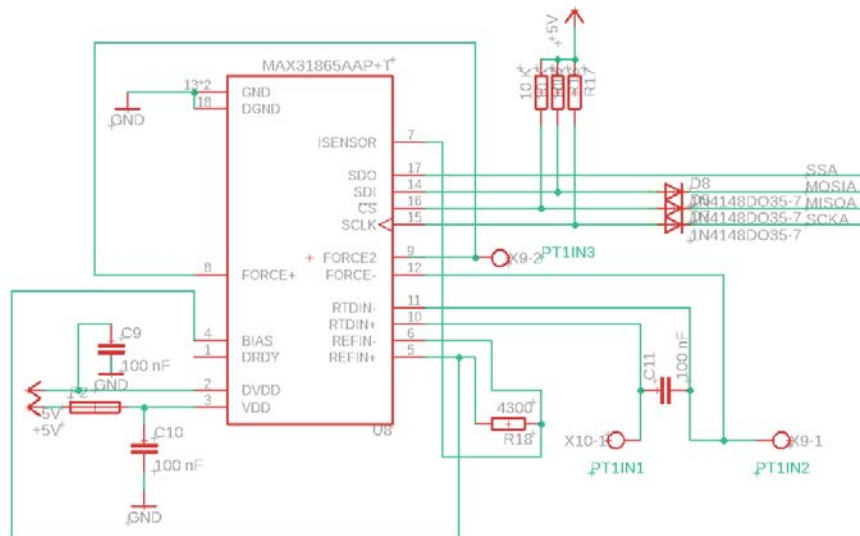
Za programovací rozhraní byla zvolena sériová linka USART, která na samotné programování potřebuje vodiče RX, TX a RESET. Samozřejmostí je napájení 5 V. V našem případě programujeme mikropočítač přes rozhraní USB a za pomoci integrovaného obvodu **FT232RL**, jej převádíme na USART. Vývod RX programátora se připojuje na vývod TX u mikropočítače, a naopak pro vývod TX programátora. Vývod RESET se při programování připojuje, protože programátor si musí umět u mikropočítače vyvolat RESET, aby se dalo programovat a dále dodržet správnou sérii příkazů, které se mají po USART poslat, aby došlo ke správnému naprogramování mikropočítače. Deska plošných spojů monitorovací jednotky využívá USB Mini konektor ve verzi s pěti vývody jako programovací rozhraní. Schottkyho dioda **SS1P3L** slouží jako ochranný prvek v případě připojení napájení jak z USB, tak z trakčních baterií po převedení na správnou úroveň napětí. USB konektor, integrovaný obvod FT232RL a dioda SS1P3L je znázorněna na schématu na obr. 2.4. Odpor R21 a R20 snižují proud protékající do LED diod, které indikují, zda programátor data přijímá nebo odesílá.



Obr. 2.4 - Programovací obvod FT232RL s mini USB konektorem

2.3 MĚŘENÍ TEPLoty CHLADICÍ KAPALINY A OLEJE

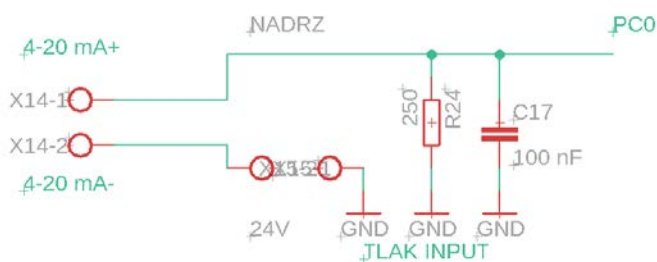
Teplota je měřena pomocí čidla Pt1000 s analogovým výstupem a následně převedena pomocí patnáctibitového A/D převodníku MAX31865 na digitální signál. Čidla tohoto typu jsou v dnešní době jedny z nejpřesnějších. Jejich rozsah je od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na schématu je zapojení Pt1000 se třemi vývody a integrovaného obvodu MAX31865. Tento integrovaný obvod komunikuje s mikropočítačem po sériové sběrnici SPI, jak ilustruje zapojení na obr. 2.5. Vývody čidla Pt1000 jsou značeny PT1IN1-3 (Maxim Integrated, nedatováno).



Obr. 2.5 - Obvod pro měření teploty pomocí čidla Pt1000 a MAX31865

2.4 MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ PALIVA

Měření množství paliva v nádrži je realizováno pomocí tlakového čidla a výpočtu hydrostatického tlaku. Čidla, která přenášejí naměřenou veličinu pomocí informace uložené v hodnotě proudu proudové smyčky, dnes nacházejí své využití i v průmyslové automatizaci. Jejich výhodou je možnost použití na velké vzdálenosti, jsou velice odolná vůči šumu, a proto je používáme v prostředí, kde mohou nastat různá rušení. V případě monitorovací jednotky je tímto čidlem měřena hladina paliva v nádrži. Čidlo na měření hydrostatického tlaku se ponoří do naftové nádrže a za pomoci změny tlakové diference jsme schopni přepočítat tlak, resp. objem z hloubky ponoru. Tento údaj vyhodnocujeme mikropočítačem, který je tolerantní pouze k napěťovým úrovním $0 \div 5$ V. Toto řešíme pomocí předřadného odporu s hodnotou 250Ω . Při průchodu proudu 4 mA tímto odporem bude na odporu úbytek napětí 1 V, resp. 5 V při procházejícím proudu 20 mA. Tento jednoduchý obvod je znázorněn na obr. 2. 6.

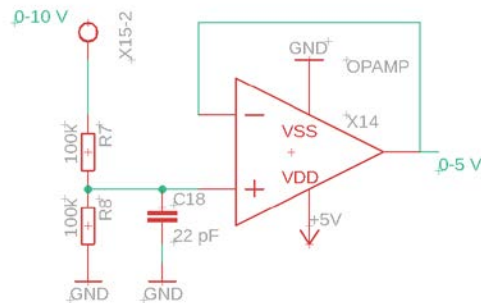


Obr. 2.6 - Zapojení převádějící proudový signál na napěťový

2.5 MĚŘENÍ TLAKU OLEJE

Tlak oleje je měřen pomocí tlakového čidla **PT20R-1004-U1-H1143** od firmy TURCK s výstupem $0 \div 10$ V. Rozsah čidla je $0 \div 2$ MPa s přesností $\pm 0,3$ % z rozsahu. Analogový napěťový výstup z čidel je druhým nejrozšířenějším signálem, který vystupuje z čidel nejen v průmyslové automatizaci. Zpracování tohoto signálu mikropočítačem ATmeg328P je jednodušší, protože už jej nemusíme převádět z proudu na napětí, ale musíme převést úrovně $0 \div 10$ V na úrovně $0 \div 5$ V. Nejjednodušší je zde použít napěťový dělič za pomoci dvou odporů se stejnou hodnotou. Úbytek na jednom z odporů bude nabývat hodnot $0 \div 5$ V lineárně vůči vstupnímu signálu z analogového čidla. Toto řešení však není vhodné. Na obr 3.9 je příklad vhodnějšího zapojení odporového děliče s napěťovým sledovačem. Použití operačního zesilovače jako napěťového sledovače zároveň chrání vstup mikropočítače díky skutečnosti, že

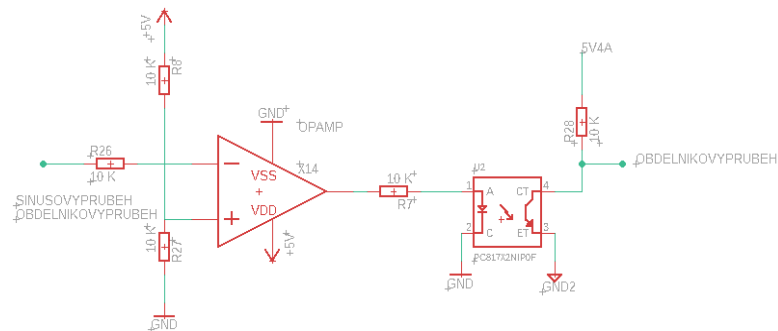
nejvyšší výstupní napětí, které lze naměřit na výstupu je jeho napájecí napětí, tedy 5 V. Toto zapojení je znázorněno na obr. 2.7.



Obr. 2.7 - Odporový dělič s napěťovým sledovačem

2.6 MĚŘENÍ OTÁČEK

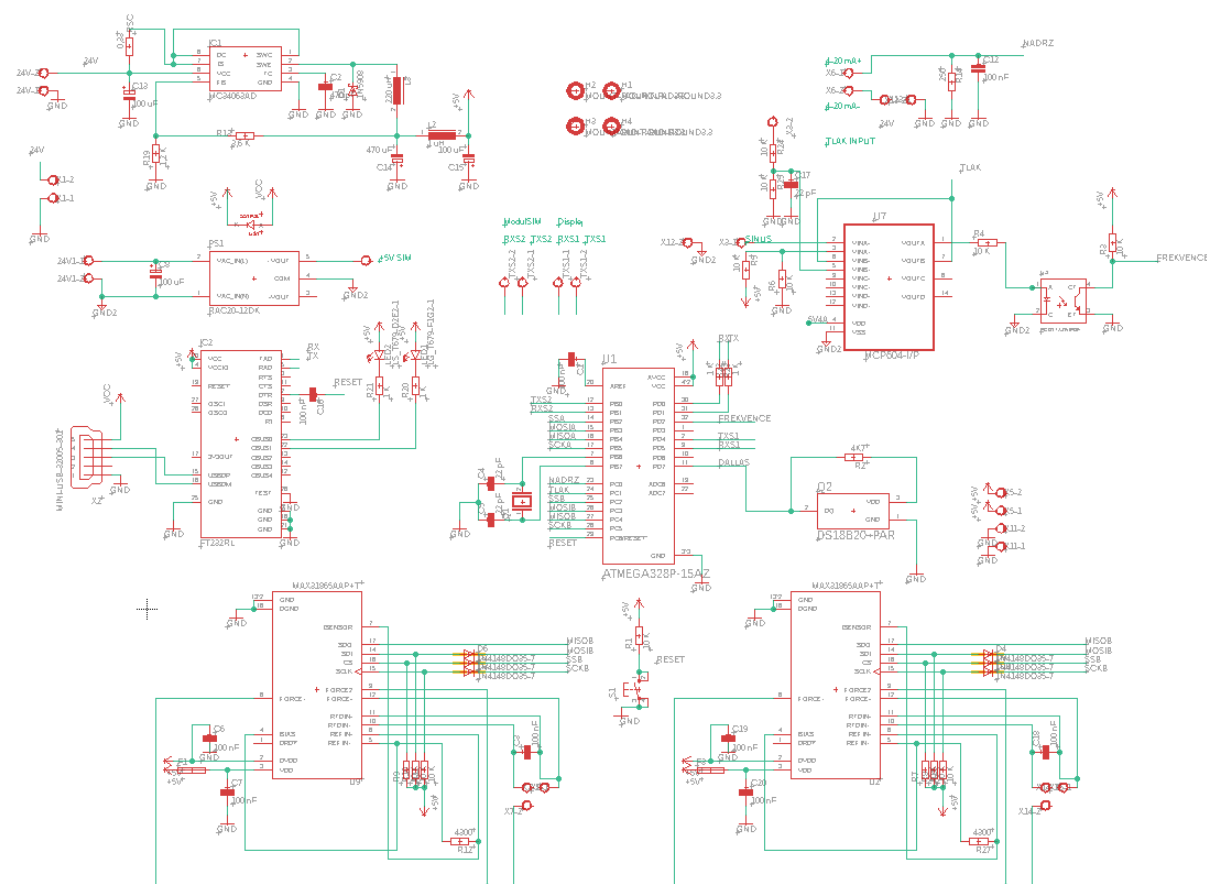
Pro měření otáček spalovacího motoru z hlediska zpracování signálů logicky vyplývá, že měřený signál bude mít s proměnlivou frekvencí rozdílné otáčky než motor. Průběh můžeme předpokládat obdélníkový nebo sinusový. Cílem tohoto měření bylo navrhnout pomocný obvod, který dokáže změřit frekvenci obou zmiňovaných průběhů a také dokáže mikro počítač galvanicky oddělit a tím ochránit od měřeného signálu. Docílil jsem toho použitím operačního zesilovače jako komparátoru, kdy na neinvertující vstup připojuji neměnné referenční napětí přibližně 0,5 V. Napětí 0,5 V jsem získal za pomoci odporového děliče v poměru 100 : 10. Na invertující vstup komparátoru je přes rezistor připojen vstupní signál s proměnlivou frekvencí. Na výstupu komparátoru bude 5 V napětí, když bude hodnota měřeného napětí větší než 0,5 V. Když hodnota klesne pod 0,5 V, bude na výstupu komparátoru 0 V. Tato skutečnost nám však mikro počítač galvanicky neoddělí od měřeného průběhu, a proto na výstup komparátoru zařazuji ještě optočlen, který již obdélníkový signál galvanicky oddělí. Obr. 2.8 je příklad zapojení operačního zesilovače s optočlenem.



Obr. 2.8 - Obvod generující obdélkový průběh

2.7 CELKOVÉ SCHÉMA

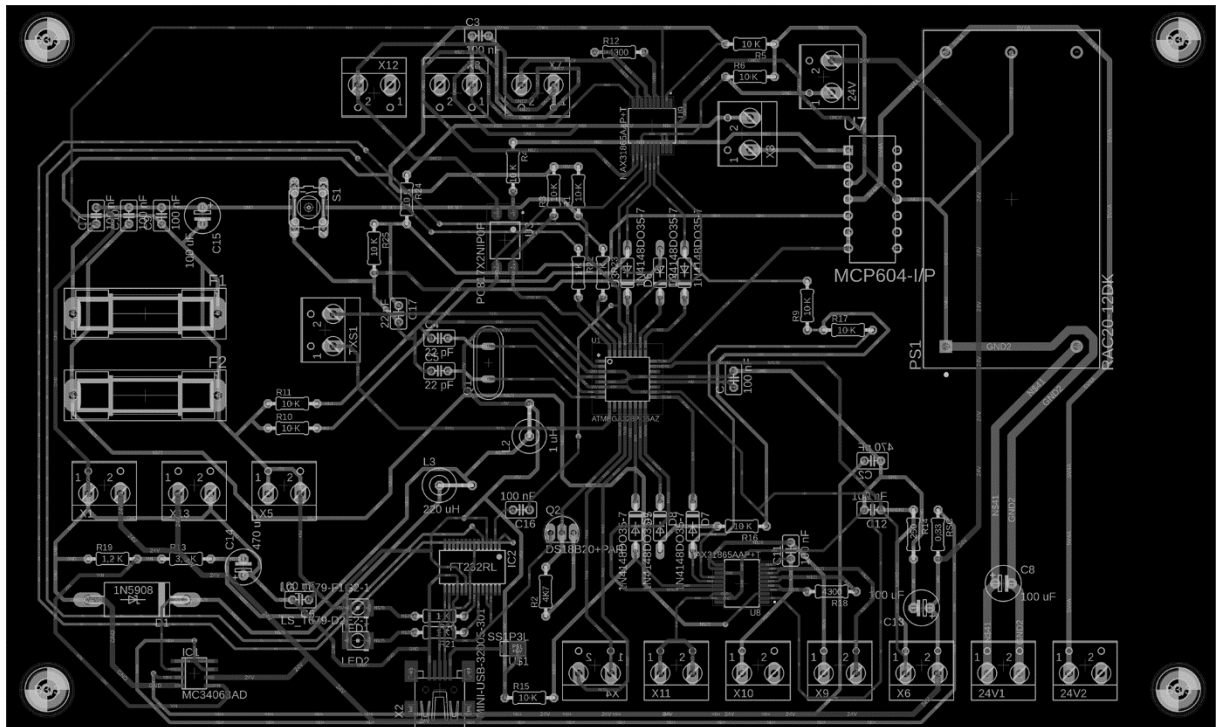
Na obr. 2.9 je celkové schéma zapojení, oproti popisu jednotlivých částí je jiné pouze v zobrazení operačních zesilovačů, protože jich používám více v integrovaném obvodu, který má součástku ve formě bloku. Princip zapojení je však stejný.



Obr. 2.9 - Celkové schéma monitorovací jednotky

2.8 DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ

Pro nakreslení schématu a návrh desky plošných spojů jsem si zvolil program EAGLE. Po nakreslení schématu je potřeba ještě schéma převést na spoje a součástky v pouzdrech popř. otvory na THT součástky nebo plošky na SMD součástky. Vzhledem k počtu použitých integrovaných obvodů jsem zvolil dvouvrstvou desku plošných spojů. Po vhodném umístění součástek se buď dá po jedné každá cesta spojit ručně nebo se dá použít *Autorouter*.



Obr. 2.10 - Dvouvrstvá deska plošných spojů monitorovací jednotky

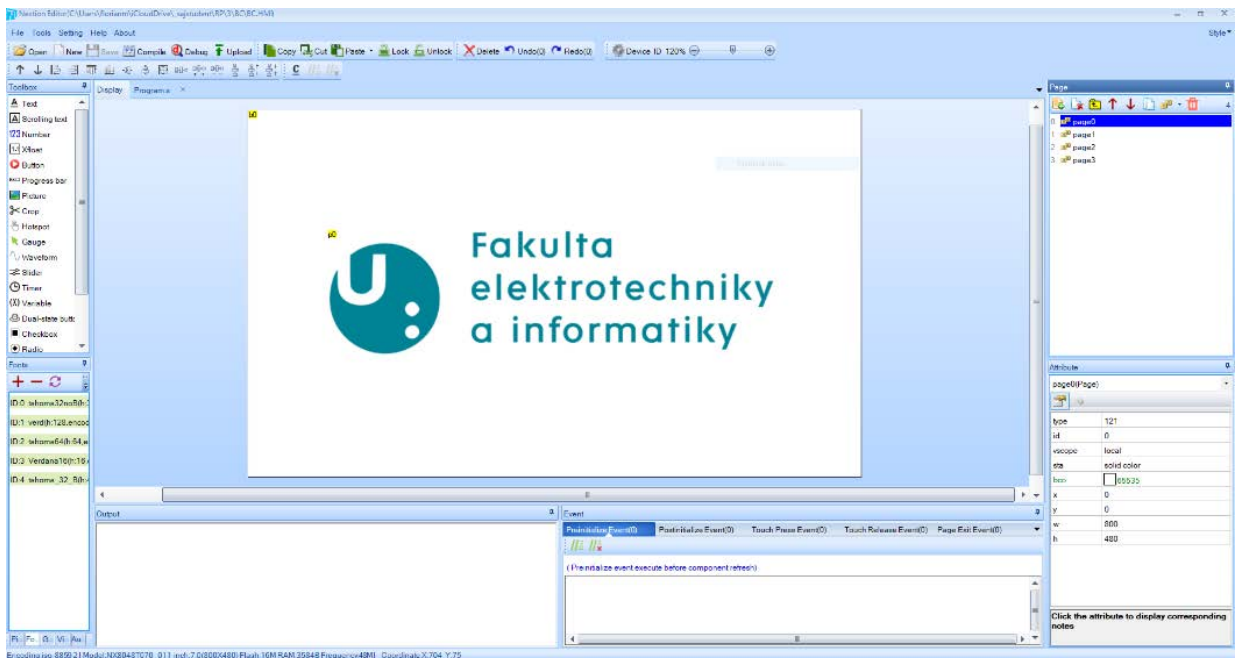
2.9 NEXTION LCD DISPLEJ

Jako zobrazovací jednotku jsem použil sedmpalcový displej od firmy Nextion. Software NextionHMI je pouze pro operační systém Windows a je poskytován zdarma. Umožňuje přidávat textová pole, tlačítka, číselná pole, zaškrťovací tlačítka, časovače, ukazatele průběhu, grafy a mnoho dalšího. NextionHMI zároveň podporuje debugging kvůli možným chybám, které se mohou vyskytnout při nesprávném používání objektů. Je to dané tím, že NextionHMI podporuje více pohledových oken a někdy se může při nepozornosti stát, že při vkládání na další pohledové okno se číslování objektů vezme od nuly a nerespektuje číslování

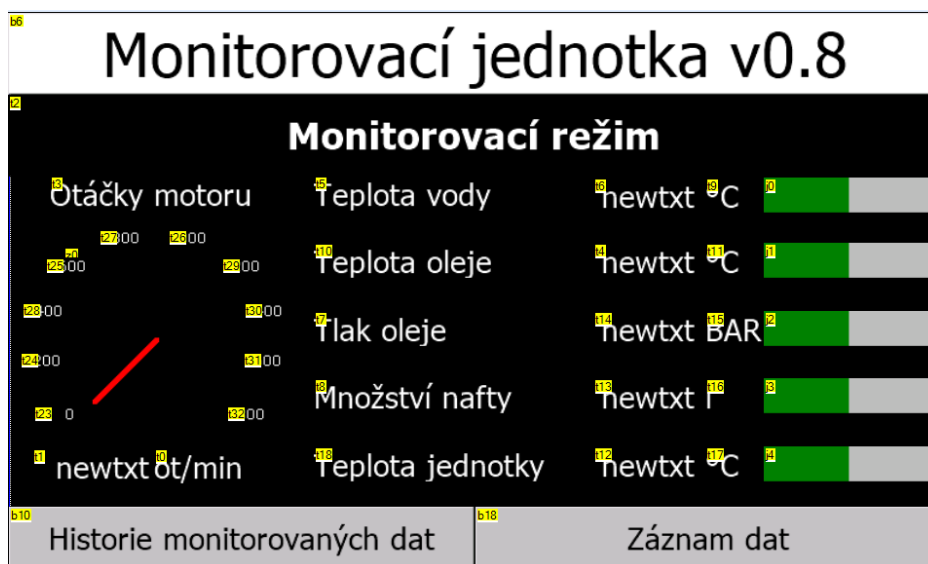
již vložených objektů v předchozích oknech. V takovém případě, kdy displej nefunguje korektně a tlačítka neplní správnou funkci, je možnost debuggeru velmi příjemná.

Nextion displej používá pro převod vytvořeného grafického rozhraní soubory TFT, které se nahrají na mikro SD kartu, vloží se do displeje a po připojení napájení se program nahraje do displeje. Maximální velikost, kterou grafické rozhraní může zabírat v paměti, je omezeno na 16 MB. Displej komunikuje s mikropočítačem pomocí sériové linky instrukcemi, které výrobce poskytuje programátorům. Nejpoužívanější instrukcí, kterou používám je tzv. *setComponentText*, která má dva argumenty. Prvním z argumentů je název objektu. V tomto případě název textového pole a druhým argumentem je hodnota datového typu *string*. Instrukce bude v kódu fungovat pouze za předpokladu, že připojíme knihovnu displeje *Nextion.h* a zavoláme potřebné třídy pro inicializaci komunikace s displejem.

Pomocí tlačítek ovládáme mikropočítač nebo samotný displej. V jednotce využívám textová pole a grafy, které slouží pro zobrazování informací na displeji a tlačítka, kterými ovládám displej a mikropočítač. Pracovní režimy jednotky jsou monitorovací režim, historie monitorovaných dat a nastavení záznamu dat.



Obr. 2.11 - Uživatelské prostředí Nextion HMI



Obr. 2.12 - Náhled zobrazení v Nextion HMI SW

2.10 KOMUNIKAČNÍ MODUL GPRS

Odesílání pracovních parametrů spalovacích motorů pro pozdější analýzu bylo jedním ze zadání a pro záznam byl použit SIM modul, který je ovládán pomocí tzv. AT příkazů. Po připojení modulu v počítači přes FTDI USB převodník na sériovou linku, kterým se dají do modulu odeslat například přes sériový monitor v aplikaci Putty pro Windows popř, Terminál pro Linux a macOS.

AT příkazy

Nejdůležitější příkazy jsou uvedeny v tab. 2.1. Je to série příkazů, které jsou použity na navázání spojení se vzdáleným serverem a odeslání dat na tento server. Tato rutina probíhá každých 5 minut.

Tab. 2.1 - Sekvence AT příkazů

Příkaz	Popis příkazu
AT	Základní příkaz pro otestování komunikace s modulem
AT+CSQ	Příkaz vrací sílu signálu
AT+CREG=1	Příkazuje modulu, aby se registroval v síti
AT+COPS=?	Vypíše dostupné operátory
AT+COPS=2	Připojí se k operátorovi s číslem 2 ve výpisu

Tab. 2.1 - Sekvence AT příkazů, pokračování

Příkaz	Popis příkazu
AT+CGATT=1	Aktivuje GPRS připojení
AT+CGDCONT=1,"IP","Internet"	Nastaví APN: Internet
AT+CGACT=1,1	Aktivuje nastavené připojení
AT+CIPSTART="TCP","gps.hrochostroj.cz","80" "	Připojí se k serveru a portu
AT+CIPSEND	Inicializace odesílání dat

Zahajovací sekvence pro navázání spojení se serverem se podaří pouze v případě, že na každý jeden dotaz dostaneme správnou odpověď. Pro správnost sekvence využívám větvení programu za pomoci několika podmínek *if-else*. Ihned po přijetí příkazu *AT+CIPSEND* čeká modul na data, která jsou v mém případě ve formě GET dotazu protokolu HTTP. Dotaz je textový řetězec, který obsahuje URL, ve které je zapsán server a data, která jsou dle jednoduchého kódového předpisu zakódována. Data jsou odesílána na server každých 5 minut a ukládají se na serveru do MySQL databáze. Jednoduchým PHP skriptem je možná data zobrazit na front-endu webového prohlížeče.

2.11 PROGRAM MONITOROVACÍ JEDNOTKY

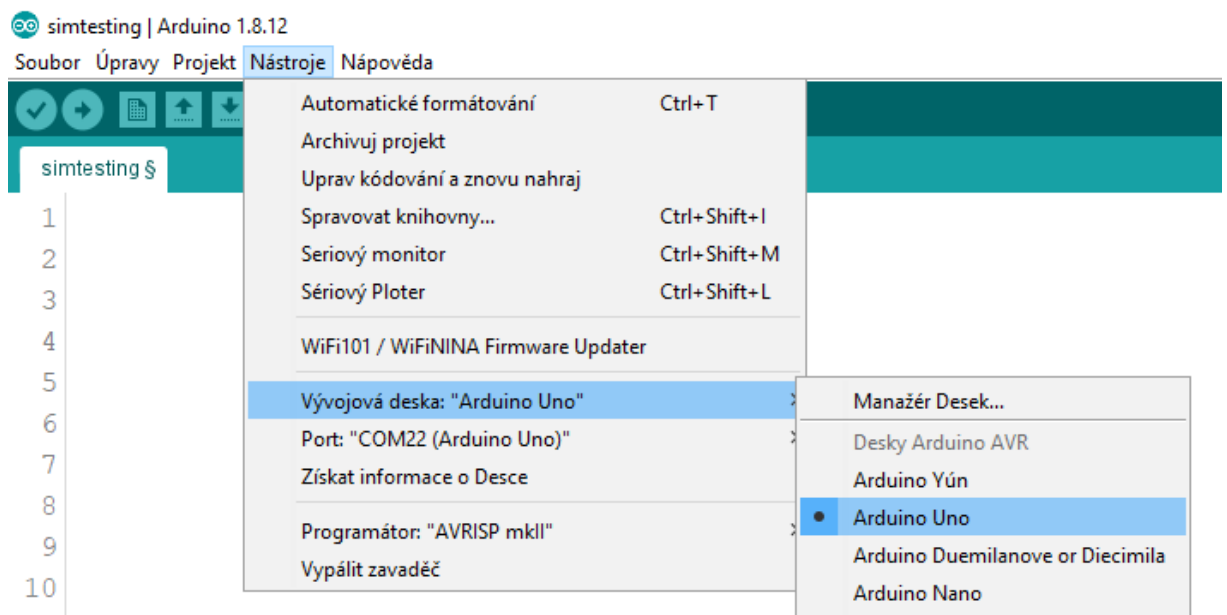
Program monitorovací jednotky je napsán z části v jazyce C a z části v jazyce C++. Základní nastavení vstupně / výstupních registrů, přerušení a čítače / časovače je provedeno v jazyce C. Práce s objekty z připojených knihoven musí nutně být v jazyce C++, protože jazyk C objekty nepodporuje a časová náročnost na přepsání objektů na struktury, které jazyk C podporuje, by bylo nad rámec náročnosti této práce.

Programování probíhá přes Arduino IDE, kde první krok, který musíme provést po připojení USB kabelu mezi mikropočítačem a počítačem, je zvolení virtuálního sériového portu (COM port). Poté následuje vypálení Arduino zavaděče. Vypálení zavaděče se provádí vždy poprvé u nového mikropočítače, zavaděč se při dalším programování nevypaluje, dokud jej opět nechceme ručně vypálit (přeprogramovat). Nakonec volíme použitý mikropočítač. V mém případě používám mikropočítač ATmega328P, resp. Arduino Uno.

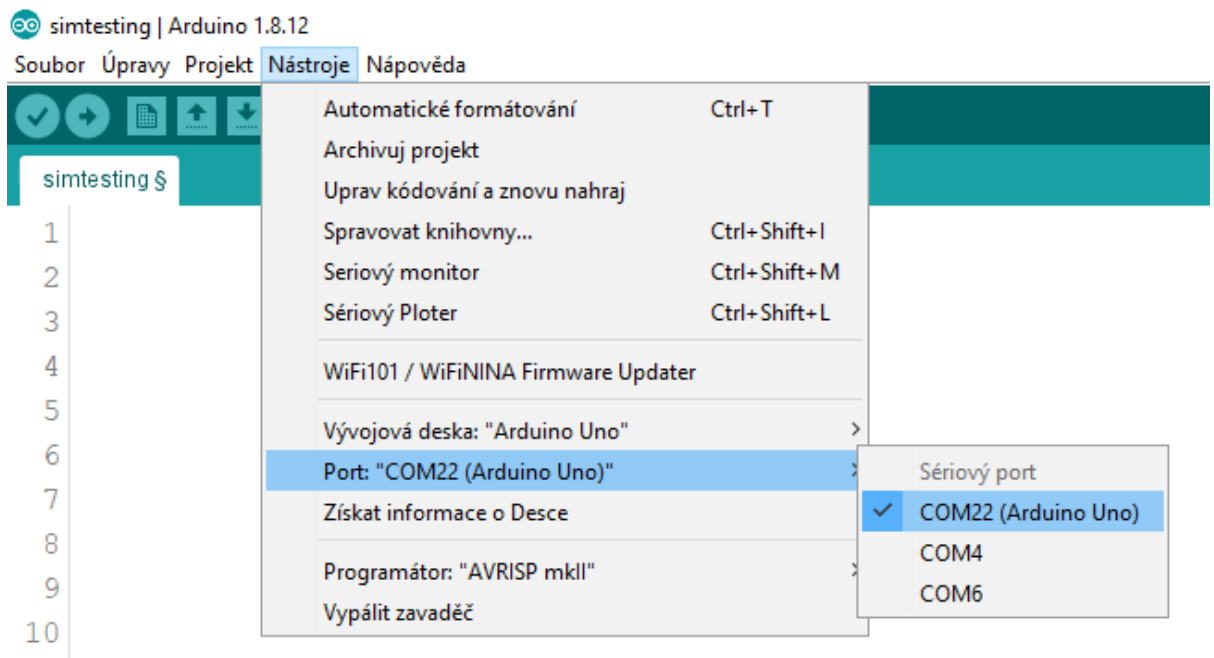
2.11.1 Nastavení vývojového prostředí

Arduino IDE podporuje všechny tři hlavní operační systémy, které jsou k dispozici na trhu. Jeho uživatelské rozhraní je poměrně jednoduché a snadno se s ním pracuje. Je v mnoha ohledech až příliš jednoduché. Nemá vlastní debugger, nicméně disponuje sériovým monitorem, který usnadní práci právě při ladění programu. Po zapnutí Arduino IDE je potřeba zvolit vývojovou desku, viz obr. 2.13. Následně musíme vybrat komunikační port, jehož volba je znázorněna na obr. 2.14. Jakmile se připojíme ke komunikačnímu portu, tak musíme do mikropočítače vypálit zavaděč, aby se dal naprogramovat pomocí Arduino IDE. Jak vypálit zavaděč je naznačeno na obr. 2.15.

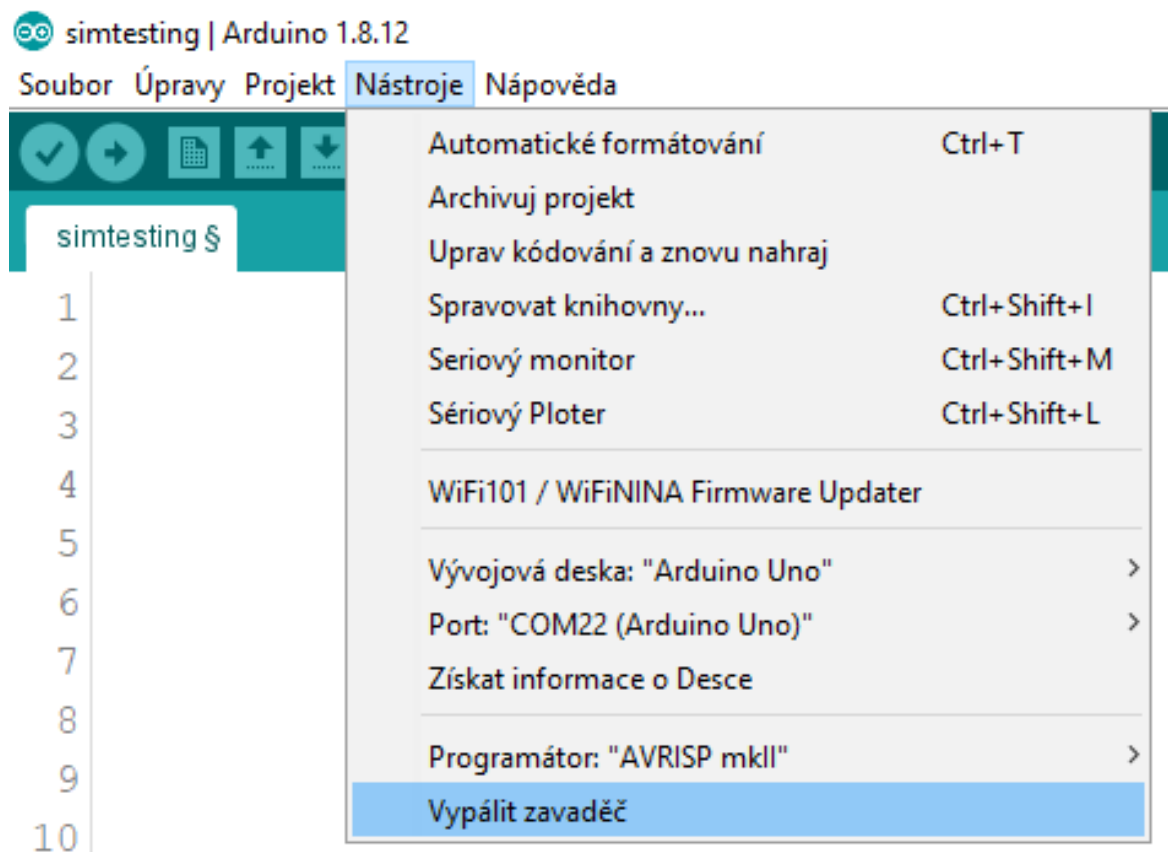
Programování v Arduino IDE nám díky speciálnímu zavaděči dovolí programovat mikropočítač pomocí jazyka C i C++ a používat knihovny pouhým připojením v pomyslné hlavičce programu. Arduino IDE totiž na disku počítače ukládá soubor s koncovkou *ino*, která překladači indikuje, že má připojit všechny zmiňované knihovny bez ohledu na to, zda k nim v programu přistoupíme či nikoliv. Program pro mikropočítač se ovšem dá sestavit i bez použití Arduino IDE například pomocí aplikace *avrdude*.



Obr. 2.13 – Volba vývojové desky v Arduino IDE



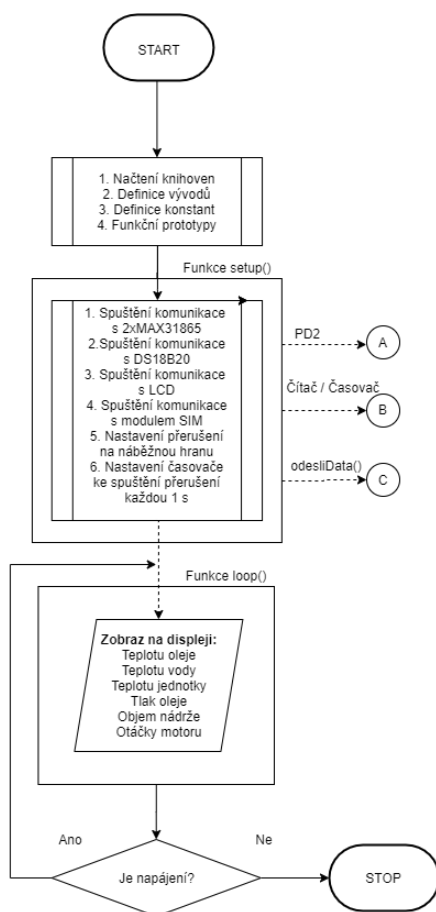
Obr. 2.14 - Volba COM portu v Arduino IDE



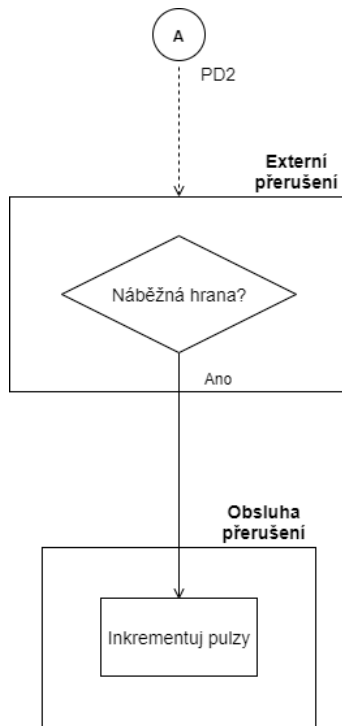
Obr. 2.15 – Vypálení zavaděče v Arduino IDE

2.11.2 Vývojové diagramy

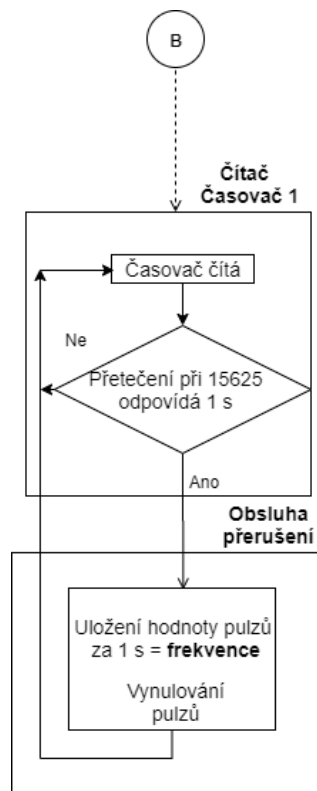
Diagram hlavní části programu, který je znázorněn na obr. 2.16 se skládá ze dvou funkcí a z kódu, kde se připojují potřebné knihovny, uvádějí se zde funkční prototypy a kde se definují vývody a konstanty. Mezi dvě zmíněné funkce patří funkce *setup* a funkce *loop*. Ve funkci *setup* se ošetřuje komunikace mezi periferiemi, nastavují se přerušeni a čítač / časovač. Funkce *loop* má za úkol zobrazování dat LCD displeji. Na obr. 2.17 a 2.18 je zobrazena obslužná rutina přerušeni pro čítání náběžných hran obdélníkového průběhu na vstupu PD2 a vyhodnocování těchto pulzu jedenkrát za sekundu a tím je zjištěna frekvence neboť počet pulzu za jednu sekundu odpovídá frekvenci, která se potom přepočítá na otáčky za minutu. Na obr. 2.19 je znázorněn vývojový diagram pro provedení sekvence, která má za následek odeslání dat na server.



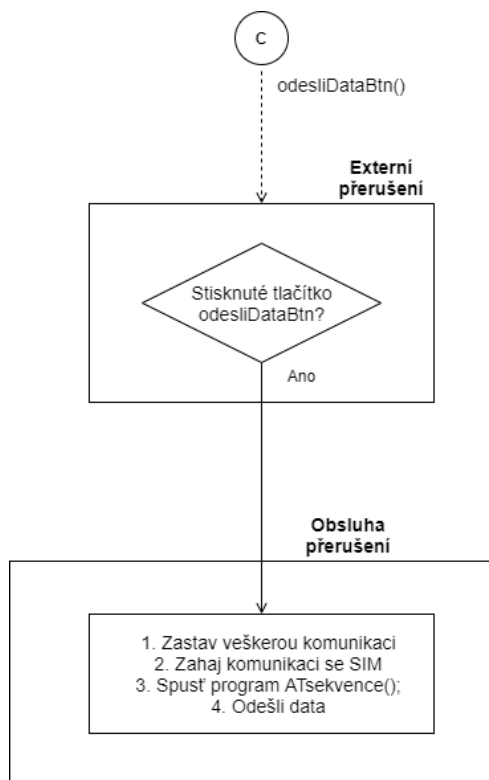
Obr. 2.16 - Vývojový diagram programu



Obr. 2.17 – Obsluha přerušení na portu PD2 (INT0)



Obr. 2.18 – Vyhodnocení čítaných pulzů s převodem na frekvenci



Obr. 2.19 – Obsluha externího přerušení pro provedení odesílací sekvence AT příkazů

2.12 3D MODEL V PROGRAMU DESIGNSPARK MECHANICAL

Modelovací program DesignSpark Mechanical je zdarma poskytovaný software od polské firmy RS Components určený na kreslení 3D modelů s možností exportu pro 3D tisk. V tomto programu jsem navrhoval 3D model na uložení desky plošných spojů a LCD displeje. Celé řešení se skládá ze dvou částí. Horní část slouží jako kryt bočních stran displeje i jako kryt samotné desky plošných spojů. Zespoda celé zařízení ještě zakrývá dolní část. LCD displej, deska plošných spojů i obě části modelu jsou k sobě sešroubovány za pomoci M3 šroubů a distančních sloupků.

Tisk modelu na 3D tiskárně

Nakreslený model krytu jednotky se pomocí programu DesignSpark Mechanical exportuje do formátu STL. Formát STL je třeba nahrát do software, který jej převede do souboru ve formátu GCODE. Software pro převod STL do GCODE byl použit software Prusa Slicer. Kryt byl vtištěn na základní nastavení v softwaru Prusa Slicer a materiálem PETG.

3 TESTOVÁNÍ MONITOROVACÍ JEDNOTKY

Pro testování monitorovací jednotky byl zamýšlen spalovací vznětový motor KTTA19 od firmy Cummins Inc, který pohání brousící agregát kolejové brusky SPML16-2. Úmyslem bylo připojit monitorovací jednotku bez zásahu do vlastní elektroniky a konstrukce motoru, což se bohužel ukázalo jako velmi nákladné a nezbývalo nic jiného než od toho upustit a pokusit se nalézt alternativu. Jako alternativa byla zvolena série testů, které mají prokázat alespoň základní funkci monitorovací jednotky. K simulaci otáček motoru používám generátor sinusového a obdélníkového průběhu. Simulaci vysokých teplot nad 100 °C používám plynový zapalovač. Pro simulaci tlaku v nádrži se testuje ponoření čidla do metrové hloubky vodní nádrže. Jako záznamové médium byla použita MySQL databáze, do které jednotka odesílala data pomocí datového přenosu GPRS navázaného SIM kartou v SIM modulu. Perioda odesílaných dat byla s ohledem na modul zvolena na 5 minut.

3.1 MĚŘICÍ STANOVIŠTĚ

Měřicí stanoviště u elektronické monitorovací jednotky bylo nutné vyzkoušet bez motoru, ale pro ověření funkcí jednotky ho v podstatě nepotřebujeme. Na obr. 3.1 je zobrazena úvodní stránka jednotky a na obr. 3.2 je zobrazen monitorovací režim jednotky.

Hydrostatický tlak, resp. množství nafty v naftové nádrži, simulujeme ponořením čidla do hloubky 1 m, do vodní nádrže, viz obr. 3.11. Tímto způsobem by fungovalo odměřování paliva v naftové nádrži. Nádrž, ve které je měřen objem, má výšku 1,2 m a celkový objem 10 m³. Na obr. 3.10 je zobrazeno umístění čidla do vodní nádrže montážním otvorem.

K měření otáček byl použit funkční generátor, který byl nastaven na generování obdélníkového pulzu s frekvencí 200 a 600 Hz s amplitudou 13 V.

Záznam teploty byl prováděn teplotním čidlem DS18B20 jeho záznam z měření je znázorněn na obr. 3.4.



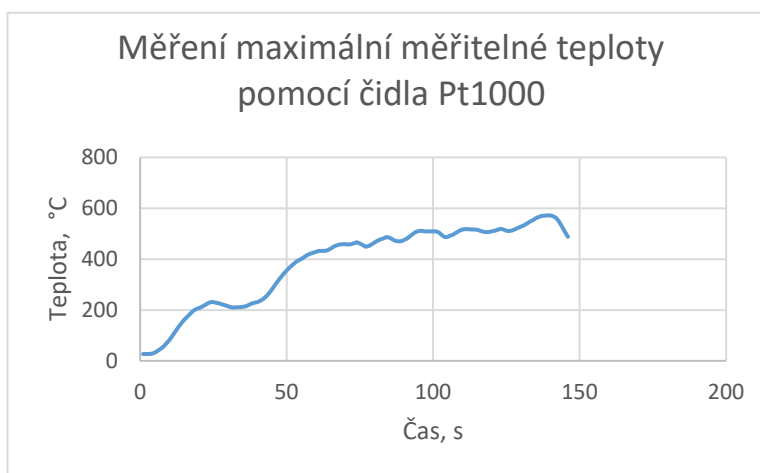
Obr. 3.1 – Úvodní obrazovka monitorovací jednotky



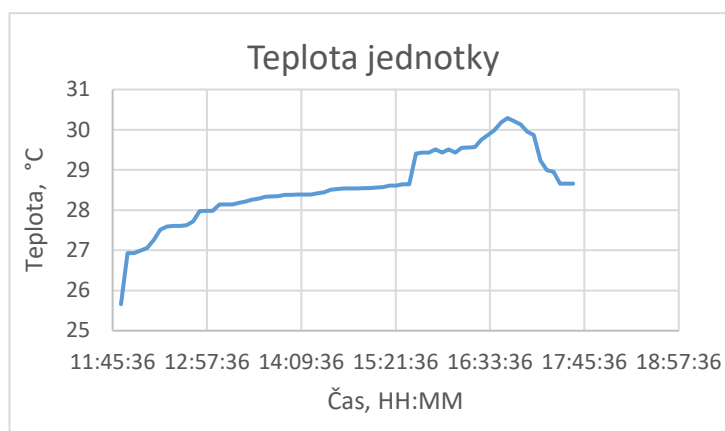
Obr. 3.2 – Monitorovací režim monitorovací jednotky

3.2 SLEDOVÁNÍ TEPLOT MOTORU

Sledované teploty motoru, zejména teplota chladicí kapaliny a teplota mazacího oleje, se pohybují v rozmezích $90 \div 120$ °C. Vzhledem k potřebě návrhu stále robustnějších zařízení byla použita teplotní čidla, která dovolují měření těchto teplot naddimenzovat. Výrobce deklarovaná maximální možná měřená teplota čidla Pt1000 je 800 °C. Z běžně dostupných a relativně bezpečných zdrojů tepla byl zvolen plynový zapalovač. Čidlo Pt1000 bylo na zaznamenávaném časovém úseku umístěno přibližně 1 cm nad plynový zapalovač. Záznam trval přibližně 3 minuty a byl nahrán do sériového monitoru, odkud byl vyexportován do programu MS Excel. Z obr. 3.3 vychází, že teplotní čidlo dokáže měřit do teploty přibližně 600 °C. Způsob ohřívání čidla zapalovačem je znázorněn na obr. 3.8. (Maxim Integrated, nedatováno).



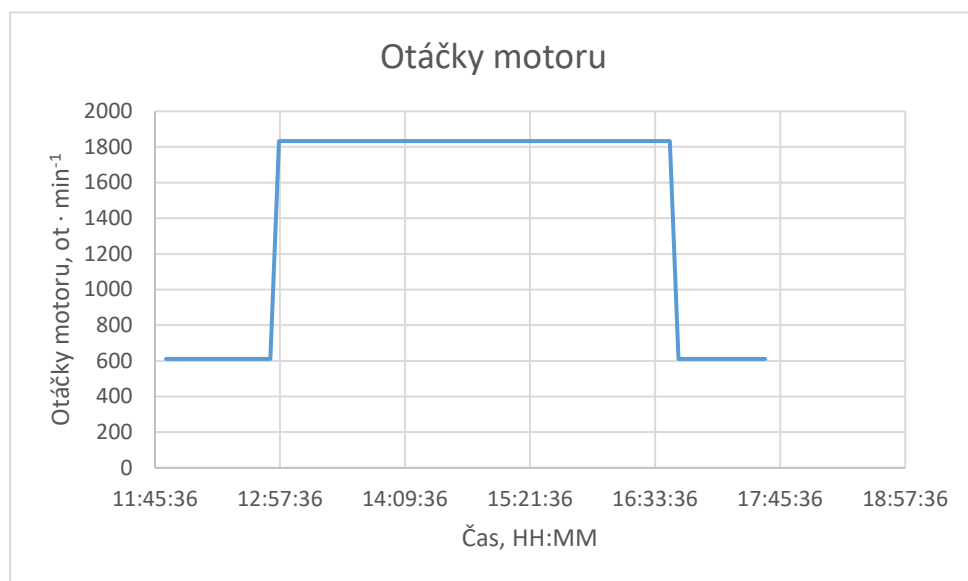
Obr. 3.3 – Záznam teploty z měření čidla Pt1000



Obr. 3.4 – Záznam teploty v jednotce

3.3 SLEDOVÁNÍ OTÁČEK MOTORU

Sledování otáček motoru jsem nasimuloval pomocí generátoru průběhů. Tento funkční generátor dokáže generovat průběhy s frekvencemi od 100 Hz do 65,5 kHz, přičemž krok generovaného průběhu je 100 Hz. V případě spalovacího motoru, na kterém jsem původně zamýšlel jednotku použít, hodnota 196 Hz odpovídá otáčkám na volnoběh, resp. $600 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a 505 Hz odpovídá pracovním otáčkám, resp. $1500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Měřený průběh z tohoto motoru má sinusový průběh, který převádím na obdélníkový průběh. Na začátku měření byla nastavena frekvence 200 Hz, což odpovídá $611 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, tedy otáčkám na volnoběh. V průběhu měření byla na generátoru zvýšena frekvence na 600 Hz, což odpovídá přibližně $1800 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, resp. pracovním otáčkám. Ke konci měření byla hodnota snížena na hodnotu otáček na volnoběh. Funkční generátor použitý pro simulaci je zobrazen na obr. 3.9 a změřený průběh je znázorněn na obr. 3.5.



Obr. 3.5 – Záznam otáček motoru

3.4 SLEDOVÁNÍ HYDROSTATICKEHO TLAKU V NÁDRŽI

Pro odměřování množství nafty v nádrži je použito čidlo s výstupem $4 \div 20 \text{ mA}$, které snímá hydrostatický tlak kapaliny. Je určeno do vody s maximálním ponorem 2 m. Čidlo jsem ponořil do hloubky 1 m ve vodní nádrži. Na obr. 3.6 jsou zobrazena data v čase měření.



Obr. 3.6 – Záznam množství kapaliny v nádrži

3.5 SLEDOVÁNÍ TLAKU MAZACÍHO OLEJE

U motorů se tlak pohybuje v rozmezí 0,5 ÷ 1,5 MPa. Takový tlak nedokážu nasimulovat, a proto tato zkouška není neprovedena.

3.6 ZÁVĚR Z TESTOVÁNÍ MONITOROVACÍ JEDNOTKY

Celková funkce monitorovací jednotky byla potvrzena. Jednotka dokáže měřit a zaznamenávat teploty z více zdrojů, dokáže měřit množství kapaliny, resp. nafty v nádrži. Monitorovací jednotka dokáže měřit i otáčky motoru. U odměřování nafty v nádrži je třeba znát rozměry měřené nádrže, aby se dala měřená veličina přepočítat na litry.

U měření teploty čidlem Pt1000 mohlo dojít i k měření vyšších teplot, kdyby nezačal hořet plynový zapalovač použitý k pokusu. Rozsah teplotního čidla Pt1000 je od -200 °C do +850 °C, dlouhodobá stabilita je 0,03 % po 1000 hodin při teplotě 400 °C. Teplota jednotky odpovídala skutečnosti. Teplotní čidlo použité v jednotce je DS18B20, které má teplotní rozsah od -55 °C do +125 °C s přesností ± 0,5 °C (Maxim Integrated, nedatováno).

Otáčky motoru mají strmé změny, protože byly simulovány na funkčním generátoru, kde jsou změny frekvence po potvrzení téměř okamžité. Frekvence, kterou program mikro počítače převádí na otáčky, jsou generovány z externího přerušovacího signálu. Při

veškeré komunikaci s displejem, s obvody MAX31865 a se SIM modulem se při měření frekvence nepodařilo dosáhnout frekvence vyšší než je 1300 Hz, což by odpovídalo přibližně 4000 ot. · min.⁻¹. Moderní auta dosahují otáček vyšších a z toho vyplývá, že tato monitorovací jednotka by nešla použít pro měření otáček motorů moderních aut.

Měření množství kapaliny v nádrži prokázalo očekávané výsledky. Průběh množství kapaliny na grafu je stálý a téměř neměnný, protože měřená nádrž je na dešťovou vodu a v době měření byly nulové srážky. Čidlo **YH-136** s proudovou smyčkou 4 ÷ 20 mA je univerzální čidlo, kterým se dají měřit kapaliny membránovým čidlem tlakové diference. Tlak působící na membránu nesmí přesáhnout 19,561 kPa, protože čidlo je určeno do maximální ponorné hloubky 2 m v případě vody.

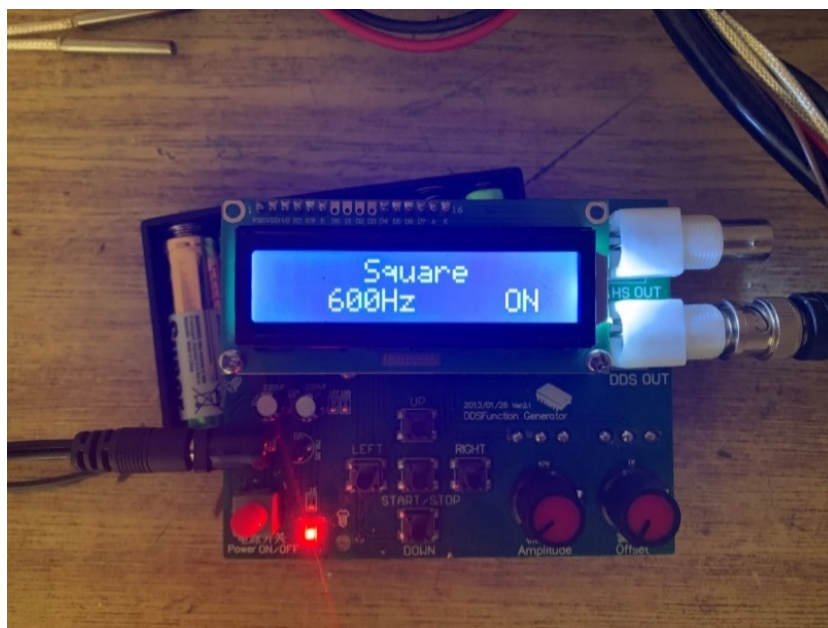
Data se zaznamenávala do tabulky na MySQL serveru. Hodnoty jsou odesílány v *GET http* dotazu a jednoduše zakódovány do celočíselných hodnot. Hodnoty jsou dekodovány až na webovém front-endu pro zobrazení v grafech k další analýze. Tato data jsou znázorněna na obr. 3.7.

	id	cas	tjednotky	otacky	nadrzi
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	2	2020-08-19 11:52	2566	61100	7974
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	3	2020-08-19 11:57	2693	61100	8013
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	4	2020-08-19 12:02	2693	61100	8000
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	5	2020-08-19 12:07	2699	61100	7987
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	6	2020-08-19 12:12	2706	61100	8026
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	7	2020-08-19 12:17	2726	61100	7974
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	8	2020-08-19 12:22	2751	61100	8013
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	9	2020-08-19 12:27	2759	61100	8000
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	10	2020-08-19 12:32	2761	61100	7987
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	11	2020-08-19 12:37	2761	61100	8026
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	12	2020-08-19 12:42	2762	61100	7974
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	13	2020-08-19 12:47	2772	61100	8013
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	14	2020-08-19 12:52	2797	61100	8000
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	15	2020-08-19 12:57	2798	183299	7987
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	16	2020-08-19 13:02	2798	183299	8026
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	17	2020-08-19 13:07	2814	183299	7974
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	18	2020-08-19 13:12	2814	183299	8013
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	19	2020-08-19 13:17	2814	183299	8000
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	20	2020-08-19 13:22	2818	183299	7987
<input type="checkbox"/> Upravit <input type="checkbox"/> Kopírovat <input type="checkbox"/> Odstranit	21	2020-08-19 13:27	2821	183299	8026

Obr. 3.7 – Zaznamenaná data v MySQL databázi na serveru



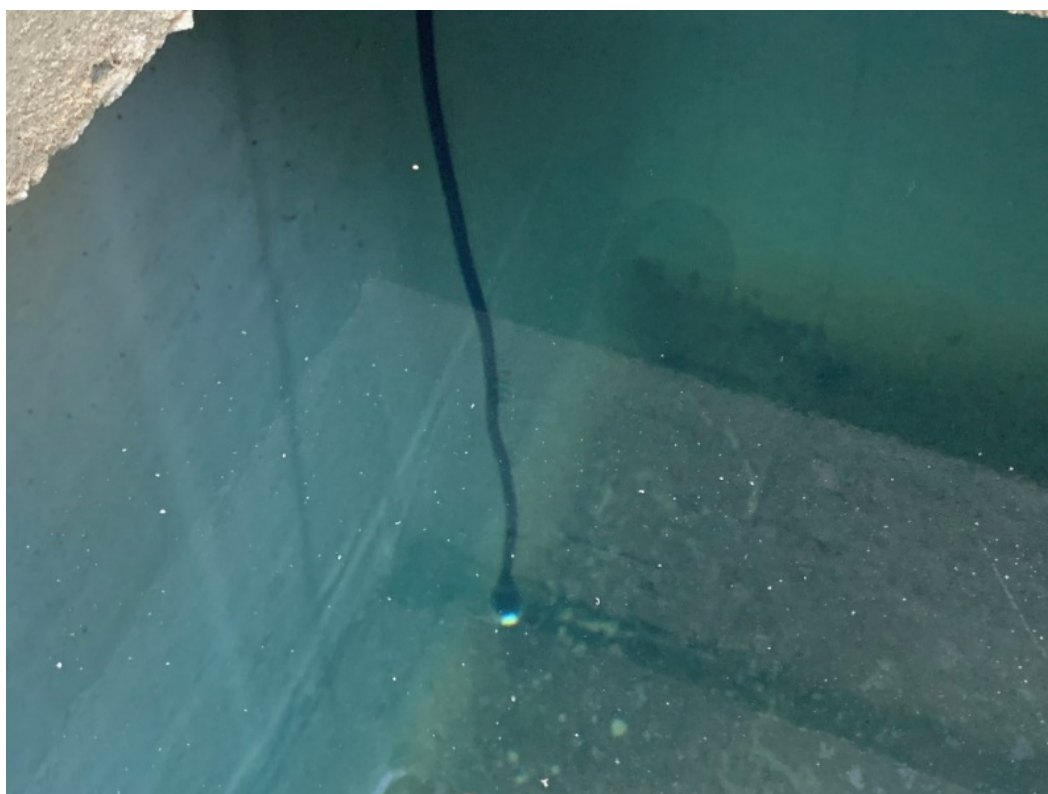
Obr. 3.8 – Způsob ohřevu čidla Pt1000



Obr. 3.9 – Funkční generátor nastaven na obdélníkový průběh s frekvencí 600 Hz



Obr. 3.10 – Montážní otvor pro měření množství kapaliny v nádrži



Obr. 3.11 – Tlakové čidlo v hloubce 1 m

ZÁVĚR

Spalovací motory jsou stále hlavními zdroji kinetické energie, kterou pak mechanicky převádíme na jiné formy energie, resp. práce. Narážíme na ně opakovaně a bez nich si už život ani nedokážeme představit. Jakkoliv se v budoucnu mohou objevit další způsoby a zařízení, které možná nahradí spalovací motory, je tato budoucnost nadále poměrně vzdálená a současně implementace těchto nových způsobů a zařízení bude vyžadovat velké množství času.

Právě obrovský význam spalovacích motorů pro náš aktuální život mě navedl na myšlenku zdokonalit tyto stroje, ať už po stránce výkonu, snížení spotřeby či jiných aktuálně neuspokojivých parametrů.

Abychom mohli spalovací motory zdokonalit, je naprosto nezbytné parametry těchto strojů důsledně monitorovat. Bez důsledného monitoringu spalovacích motorů a vůbec stanovení všech parametrů vhodných ke sledování by nebylo možné spalovací motory jakkoliv zdokonalit.

Výstupem této práce je návrh a realizace monitorovací jednotky spalovacího motoru. Jednotka se skládá z LCD displeje, desky plošných spojů a komunikačního modulu, které jsou uloženy v plastovém krytu ze dvou dílů. K jednotce jsou přivedeny vodiče od senzorů a tyto údaje jsou pak zobrazeny na LCD displeji. Jednotka zaznamenává data na vzdálený server do MySQL databáze.

Výhodou oproti komerčně vyráběnému zařízení je hlavně optimalizace použitých součástí a tím pádem i celková nižší cena monitorovací jednotky. Komerčně vyráběné PLC, se kterými bych byl schopný stejnou úlohu vyřešit včetně odesílání dat, by stálo mnohonásobně více než jednotka, kterou jsem zde popsal.

Právě snížení ceny monitorovacích jednotek a obecně tlak na snížení ceny a nákladů na monitoring může pozitivně přispět v konečném důsledku k dalšímu zdokonalování spalovacích motorů.

Návrh i testování monitorovací jednotky se obešlo bez větších obtíží až na skutečnost, že nebyl otestován senzor na měření tlaku mazacího oleje.

POUŽITÁ LITERATURA

- ATMEL CORPORATION. 2015. *ATmega328P: Datasheet* [online]. San Jose (CA): [cit. 9.8.2020]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- BAKER, B., C.. 2003. *Smaller packages=Bigger thermal challenges* [online]. Chandler (AZ): Microchip Technology, [cit. 8.8.2020]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/adn005.pdf>
- BENEŠ, P. a kolektiv. 2012. *Automatizace a automatizační technika 1 – Systémové pojetí automatizace*. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-3628-7.
- BENEŠ, P.; CHLEBNÝ, J.; KRÁL, J.; LANGER, J.; MARTINÁSKOVÁ, M. 2014. *Automatizace a automatizační technika 3 – Prostředky automatizační techniky*. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-3747-5.
- BRANKO, R. 2012. *Automobil a spalovací motor: historický vývoj*. Praha: Grada. ISBN 0-7680-0800-X.
- DAIMLER AG. 2009. *The merger between Daimler-Benz and Chrysler to DaimlerChrysler AG (1995–2007): Company History* [online]. Stuttgart (Germany): Daimler, [cit. 7.8.2020]. Dostupné z: <https://www.daimler.com/company/tradition/company-history/1995-2007.html>
- DAIMLER AG. 2016. *Daimler Annual Report* [online]. Stuttgart (Germany): Daimler, [cit. 8.8.2020]. Dostupné z: <https://www.daimler.com/documents/investors/reports/annual-report/daimler/daimler-ir-annualreport-2016.pdf>
- ECKERMANN, E. 2001. *World History of the Automobile* [online]. Warrendale (PA): Society of Automotive Engineers. ISBN 978-07-680-0800-5.
- EESEMI. 2008. *TQFP –Thin Quad Flat Pack*. [online]. EEsemi.com, [cit. 9.8.2020]. Dostupné z: <https://eesemi.com/tqfp.htm>
- FIGINI, A. 2017. *EtherCAT automation protocol* [online]. [cit 10.8.2020]. Dostupné z <https://automatizace.hw.cz/ethercat-automation-protocol.html>

- GENERAL AVR INFO. 2012. *Wayback Machine: Internet Archive* [online]. San Francisco (CA) [cit. 7.8.2020].
Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20120623131604/http://www.cse.unsw.edu.au/~pcb/avr/avr.html>
- HEROUT, P. 2003. *Učebnice jazyka C. 3. upravené vydání*. České Budějovice: Kopp. ISBN 80-85828-21-9.
- HROMÁDKO, J. 2011. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3475-0.
- JACKSON, T. 2019. *Cat debuts a new 78 liter v , V16 engine for industrial use*. [online]. [cit 10.8.2020].
Dostupné z: <https://www.equipmentworld.com/cat-debuts-a-new-78-liter-v16-engine-for-industrial-use/>
- JÁNEŠ, V. *D/A a A/D převodníky* [online]. Přednášky Fakulta dopravní. České vysoké učení technické v Praze [cit. 8.8.2020].
Dostupné z: https://www.fd.cvut.cz/personal/janes/zdt/prednasky/3_prevodniky.pdf
- MATOUŠEK, D. 2006. *Práce s mikrokontroléry ATMEL. 2. vydání*. Praha: BEN – technická literatura. ISBN 80-730-0209-4.
- MAXIM INREGATED. *MAX31865* [online]. [cit. 2020-07-29].
Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX31865.pdf>
- MAXIM INREGATED. *DS18B20* [online]. [cit. 2020-07-29].
Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- MESIT. *Řídící jednotky pro řízení a monitorování agregátu* [online]. [cit 10.8.2020].
Dostupné z : <https://www.mesitasd.cz/ridici-jednotky-pro-rizeni-a-monitorovani-agregatu>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED: *Annual Report* [online]. Chandler, AZ: MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED, 2016 [cit. 2020-07-29].

Dostupné z: <https://www.microchip.com/sec/filings/FY16/10K%20filed%205-24-2016.pdf>

OPROX, a.s. 2008. Měření, diagnostika, spolehlivost palubních soustav letadel. *Sborník příspěvků – 8: mezinárodní vědecká konference*. Brno, Říjen 22 – 23. [online]. Brno [cit 10.8.2020].

ISBN 978-80-7231-555-0. Dostupné z:

https://www.unob.cz/fvt/struktura/k206/Documents/veda/MDSPSL2008_Sbornik.pdf

Power Test Dynamometer. In: *Https://powertestdyno.com* [online]. [cit. 2020-08-04].

Dostupné z: <https://cutt.ly/zdRkybW> google

Spalovací motor. 2001. *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, [cit. 2020-08-27]. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Spalovac%C3%AD_motor

REM technik. *Modulární PLC – FC6A - REM-Technik - Průmyslová a domovní automatizace* [online]. [cit 10.8.2020]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/ridici-systemy/modularni-plc-fc6a/>

ZÁHLAVA, V. 2010. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu*. Praha: BEN – technická literatura. ISBN 978-80-7300-266-4.

PŘÍLOHY

A – CD

Příloha k bakalářské práci

Monitorovací jednotka spalovacího motoru

Michal Florián

CD

OBSAH

1. Text bakalářské práce ve formátu PDF
2. Schémata zapojení včetně návrhu desky plošných spojů
3. Zdrojový kód programu
4. Technický náčrt krytu jednotky
5. Zdrojové soubory 3D modelu