

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra silničních vozidel a pozemní dopravy



Bakalářská práce

**Snímače fyzikálních veličin používané ve spalovacích
motorech a jejich diagnostika**

Martin Frühbauer, DiS.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Frühbauer, DiS.

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Snímače fyzikálních veličin používané ve spalovacích motorech a jejich diagnostika

Název anglicky

Sensors of physical quantities used in piston combustion engines and their diagnostics

Cíle práce

Proveďte rešerši v současné době používaných snímačů fyzikálních veličin pro pístové spalovací motory včetně stručného popisu měřících principů, výstupních signálů a křivek odezvy.

Pro vybrané snímače proveďte experimentální zjištění výstupní odezvy v závislosti na velikosti měřené veličiny.

Metodika

Metodika řešené problematiky je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků experimentů budou formulovány závěry bakalářské práce.

Práce bude zpracována dle osnovy:

1. Úvod
2. Cíle práce
3. Metodika práce
4. Přehled řešené problematiky
5. Praktická část práce
6. Výsledky a diskuse
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

spalovací motory, snímače, senzory, diagnostika

Doporučené zdroje informací

ČUPERA, Jiří a Pavel ŠTĚRBA. Automobily: Diagnostika motorových vozidel I. Brno: Avid, 2010. ISBN 978-80-87143-28-5

Diesel engine management: systems and components. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2014. ISBN isbn978-3-658-03980-6



Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Pechout, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 18. 1. 2023

doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 2. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Snímače fyzikálních veličin používané ve spalovacích motorech a jejich diagnostika" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval mému vedoucímu práce panu docentu Martinu Pechoutovi za odborné rady, ochotu, pomoc při realizaci měření a poskytnutí potřebných přístrojů a programů pro čtení příslušné komunikace.

Snímače fyzikálních veličin používané ve spalovacích motorech a jejich diagnostika

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o snímačích fyzikálních veličin využívané ve spalovacích motorech moderních automobilů. Teoretická část se zaměřuje na detailní popis funkce různých typů snímačů, jako jsou tlakové, teplotní, polohové, snímače vibrací či hladiny, a jejich specifika v kontextu motorů. Dále analyzuje mechanismy přenosu dat z těchto snímačů do řídicích jednotek pomocí různých signálových typů a komunikačních protokolů.

V praktické části práce jsou provedena měření vybraných snímačů, včetně teploty NTC, tlaku paliva, tlaku oleje a hladiny oleje. Výsledky měření jsou podrobně prezentovány s ohledem na výstupy snímačů a jejich použitelnost v praxi. Celkové zhodnocení experimentů poskytuje důležité poznatky o efektivitě a spolehlivosti snímačů fyzikálních veličin v automobilových motorech.

Tato práce poskytuje ucelený pohled na význam snímačů fyzikálních veličin pro monitorování a optimalizaci provozu spalovacích motorů. Výsledky mohou být užitečným základem pro další vývoj technologií v oblasti motorových systémů a jejich řízení. Přispívají k lepšímu chápání a aplikaci těchto klíčových prvků nejen v automobilovém světě, ale také v dalších odvětvích průmyslu.

Klíčová slova: spalovací motory, snímače, senzory, diagnostika, komunikační protokoly, signály

Sensors of physical quantities used in piston combustion engines and their diagnostics

Abstract

This bachelor thesis deals with sensors of physical quantities used in modern automotive combustion engines. The theoretical part focuses on a detailed description of the function of various types of sensors, such as pressure, temperature, position, vibration sensors, or level sensors, and their specifics in the context of engines. It further analyses the mechanisms of data transmission from these sensors to control units using various types of signals and communication protocols.

In the practical part of the thesis, measurements of selected sensors are carried out, including NTC temperature, fuel pressure, oil pressure, and oil level. The measurement results are presented in detail with regard to sensor outputs and their practical usability. The overall evaluation of experiments provides important insights into the efficiency and reliability of sensors of physical quantities in automotive engines.

This work provides a comprehensive view of the importance of sensors of physical quantities for monitoring and optimizing the operation of combustion engines. The results can serve as a useful basis for further development of technologies in the field of engine systems and their control, contributing to a better understanding and application of these key elements not only in the automotive industry but also in other industrial sectors.

Keywords: combustion engines, sensors, diagnostics, communication protocols, signals

Obsah

1 Úvod.....	2
2 Cíl práce a metodika	3
2.1 Cíle práce.....	3
2.2 Metodika.....	3
3 Měření provozních hodnot pomocí snímačů fyzikálních veličin.....	5
3.1 Snímač tlaku	5
3.1.1 Membránový tlakový snímač.....	5
3.1.2 Diferenční snímač tlaku	7
3.2 Snímač teploty	7
3.2.1 Snímač typu NTC.....	7
3.2.2 Snímač typu PTC	8
3.3 Snímač polohy	8
3.3.1 Hallův snímač polohy	9
3.3.2 Indukční snímač polohy	10
3.3.3 Odporový snímač polohy	11
3.4 Snímač vibrací	11
3.5 Snímač hladiny	12
3.5.1 Snímač hladiny oleje.....	13
3.5.2 Snímač hladiny chladící kapaliny	13
3.6 Snímač průtoku vzduchu	14
3.6.1 Měřič hmotnosti vzduchu s vyhřívaným filmem	14
3.6.2 Měřič hmotnosti vzduchu s vyhřívaným drátkem.....	15
3.7 Snímač zbytkového kyslíku ve spalinách (lambda sonda).....	16
3.7.1 Součinitel λ	17
3.7.2 Dvoubodová lambda sonda.....	17
3.7.3 Širokopásmová lambda sonda.....	18
3.8 Snímač oxidů dusíku	19
4 Přenos fyzikálních veličin do řídicích jednotek.....	21
4.1 Proudová smyčka	21

4.2	Analogový signál	21
4.3	Digitální signál	23
4.4	Převodník A/D signálu	23
4.4.1	Vzorkování signálu	23
4.4.2	Kvantování signálu	23
4.5	PWM signál.....	24
4.6	Komunikační protokoly	25
4.6.1	LIN – Bus.....	25
4.6.2	CAN – Bus.....	27
4.6.3	FLEXRAY	30
4.6.4	SENT	32
5	Analýza a ověření charakteristik vybraných snímačů fyzikálních veličin	34
5.1	Přehled výběru použitých snímačů a jejich výstupní signály	34
5.2	Použité přístroje pro vlastní měření	35
5.3	Průběh praktické části a vlastní měření.....	35
5.3.1	Snímač teploty NTC	35
5.3.2	Snímač tlaku paliva.....	38
5.3.3	Snímač tlaku oleje.....	44
5.3.4	Snímač teploty a hladiny oleje.....	48
5.4	Celkové zhodnocení	56
6	Závěr.....	58
7	Seznam použitých zdrojů	60
8	Přílohy	64

Seznam obrázků

Obrázek 1 : Snímač tlaku – princip a konstrukce	6
Obrázek 2 : Snímač teploty – konstrukce	8
Obrázek 3 : Hallův snímač polohy – konstrukce a výstupní signál ze snímače	10
Obrázek 4: Indukční snímač polohy – konstrukce.....	11
Obrázek 5: Snímač klepání a jeho umístění na motoru	12
Obrázek 6: Snímač hladiny oleje – princip funkce	13
Obrázek 7: Měřič hmotnosti vzduchu s vyhřívaným filmem – konstrukce.....	15
Obrázek 8: Měřič hmotnosti vzduchu s vyhřívaným drátkem – konstrukce	16
Obrázek 9: Dvoubodová vyhřívaná lambda sonda – konstrukce.....	18
Obrázek 10: Širokopásmová lambda sonda – konstrukce	19
Obrázek 11: Snímač NOx – princip funkce	20
Obrázek 12: Průběh PWM signálu a označení jednoho cyklu.....	25
Obrázek 13: Topologie LIN sběrnice.....	26
Obrázek 14: Datový rámeček LIN protokolu	27
Obrázek 15: Průběh signálu CAN protokolu	28
Obrázek 16: Topologie CAN sběrnice se zakončovacími odpory	29
Obrázek 17: Datový rámeček sběrnice CAN.....	30
Obrázek 18: Možnosti zapojení FlexRay sběrnice	31
Obrázek 19: Datový rámeček FlexRay sběrnice.....	32
Obrázek 20: Datový rámeček SENT protokolu	33
Obrázek 21: Schéma zapojení měření snímače teploty	36
Obrázek 22: Teoretický průběh charakteristiky snímače teploty NTC.....	37
Obrázek 23: Naměřené charakteristiky obou teplotních snímačů NTC	37
Obrázek 24: Výsledné polynomičké regrese snímačů teploty	38
Obrázek 25: Schéma zapojení přístrojů pro měření snímače tlaku paliva	39
Obrázek 26: ARDUINO MEGA.....	40
Obrázek 27: Průběh signálu SENT komunikace snímače tlaku paliva a jeho popis	41
Obrázek 28: Teoretická charakteristika snímače tlaku	42
Obrázek 29: Výsledná charakteristika měřeného snímače tlaku paliva.....	43
Obrázek 30: Výsledná křivka míry spolehlivosti měření snímače tlaku paliva.....	43
Obrázek 31: Schéma zapojení přístrojů pro měření snímače tlaku oleje.....	44
Obrázek 32: Průběh signálu SENT komunikace snímače tlaku oleje a jeho popis	45

Obrázek 33: Výsledné charakteristiky snímače tlaku paliva ze dvou měření	47
Obrázek 34: Výsledná křivka míry spolehlivosti měření snímače tlaku oleje	47
Obrázek 35: Schéma zapojení pro měření snímače teploty NTC a hladiny oleje VW	48
Obrázek 36: Schéma zapojení pro měření snímače teploty NTC a hladiny oleje BMW	49
Obrázek 37: Průběh signálu nestandardizovaného protokolu snímače hladiny oleje VW a jeho popis	50
Obrázek 38: Průběh signálu LIN komunikace snímače NTC a hladiny oleje BMW a jeho popis	51
Obrázek 39: Výsledná charakteristika snímače teploty a hladiny oleje VW	53
Obrázek 40: Výsledná křivka míry spolehlivosti měření snímače teploty a hladiny oleje VW	54
Obrázek 41: Naměřené hodnoty z měření snímače teploty ve snímači hladiny oleje BMW	55
Obrázek 42: Výsledná charakteristika snímače teploty a hladiny oleje BMW	55
Obrázek 43: Výsledná křivka míry spolehlivosti měření snímače teploty a hladiny oleje BMW	56

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přenosové rychlosti CAN sběrnice v závislosti na délce vedení	28
Tabulka 2: Naměřené hodnoty z měření snímače tlaku paliva	42
Tabulka 3: Naměřené hodnoty z měření snímače tlaku oleje	46
Tabulka 4: Naměřené hodnoty z měření snímače teploty a hladiny oleje VW.....	52
Tabulka 5: Porovnání přesnosti měření všech měřených snímačů mezi sebou	57

Seznam příloh

Příloha 1: Hodnoty z programu Arduino pro čtení protokolu SENT.....	64
Příloha 2: Hodnoty z programu Arduino pro čtení nestandardizovaného protokolu	64
Příloha 3: Hodnoty z programu Arduino pro čtení protokolu LIN	65

Seznam použitých zkratek

MAP	(Measure Air Pressure)
DPF	(Diesel Particulate Filter)
NTC	(Negative Temperature Coefficient)
PTC	(Positive Temperature Coefficient)
EGR	(Exhaust Gas Recirculation)
MAF	(Mass Airflow Sensor)
SCR	(Selective Catalytic – Reduction)
A/D převodník	(Analog to Digital Converter)
PWM	(Pulse Width Modulation)
LIN	(Local Interconnect Network)
CAN	(Controller Area Network)
PNG	(Parameter Group Number)
SOF	(Start of frame)
RTR	(Remote Transmission Request)
CRC	(Cyclic redundancy check)
ACD	(Acknowledge delimiter)
ACK	(Acknowledge slot)
Int.	(Intermission)
SRS	(Substitute Remote Request)
IDE	(Identifier Extended)
SYNFI	(Sync Frame Indicator)
STFI	(StartUp Frame Indicator)
SENT	(Single Edge Nibble Transmission)
S&C	(Status & Communication)
VW	(Volkswagen)
BMW	(Bayerische Motoren Werke)

1 Úvod

Spalovací motory současných automobilů jsou složitými systémy řízení, které vyžadují precizní monitorování a kontrolu provozních parametrů pro optimální výkon a efektivitu. Klíčovým prvkem pro sběr informací o provozních hodnotách motoru jsou snímače fyzikálních veličin. Tato bakalářská práce se zaměřuje na analýzu a charakterizaci vybraných typů snímačů fyzikálních veličin používaných ve spalovacích motorech.

V úvodní části práce jsou představeny základní druhy snímačů, které lokálně měří fyzikální veličiny v motoru. Snímače tlaku, teploty, polohy, vibrací, hladiny, průtoku vzduchu, zbytkového kyslíku ve spalinách či oxidu dusíku jsou klíčové pro sledování stavu motoru a jeho okolí během provozu. Každý typ snímače je zde popsán včetně principu fungování a specifikací, jako jsou membránové tlakové snímače, snímače teploty typu NTC a PTC, Hallův a indukční snímač polohy či snímače hladiny. Další část práce se věnuje typům přenosu získaných fyzikálních veličin z těchto snímačů do řídicích jednotek motoru. Zde jsou popsány různé principy přenosu signálů, jako jsou proudové smyčky, analogové a digitální signály, převodníky A/D signálu a také princip PWM signálu. Důraz je kladen i na komunikační protokoly jako LIN-Bus, CAN-Bus, FLEXRAY a SENT, které umožňují efektivní a spolehlivý přenos dat mezi snímačem a jednotkou a jednotkami mezi sebou.

V praktické části práce je provedena analýza a ověření charakteristik vybraných snímačů fyzikálních veličin prostřednictvím praktických měření. Představeny jsou použité snímače a jejich výstupní signály, spolu s přístroji použitými pro měření. Praktická část zahrnuje konkrétní průběh měření s vybranými snímači teploty NTC, tlaku paliva, tlaku oleje a hladiny oleje. V závěru práce je prezentováno celkové zhodnocení provedených experimentů a výsledků, které přispívají k ověření funkčnosti a pochopení aplikace snímačů fyzikálních veličin ve spalovacích motorech.

Tato práce přináší zajímavý pohled na význam snímačů fyzikálních veličin v moderních spalovacích motorech a jejich klíčovou roli při optimalizaci výkonu, efektivity a bezpečnosti těchto motorů. Výsledky a poznatky z práce mohou sloužit jako užitečný základ pro další vývoj a vylepšování technologií v dalších oblastech průmyslu, a to nejen v oblasti automobilů.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíle práce

Cílem této práce je provést rešerši současně používaných snímačů fyzikálních veličin pro pístové spalovací motory. Tato rešerše zahrnuje detailní popis principů monitorování jednotlivých snímačů tlaku, teploty, polohy, snímače vibrací, hladiny, průtoku vzduchu, zbytkového kyslíku ve spalinách či oxidu dusíku. Kromě toho se zaměřuje i na výstupní signály těchto snímačů a křivky jejich odezvy, které jsou klíčové pro správné chápání jejich fungování a využití v pístových spalovacích motorech.

Cílem praktické části je provedení experimentálního zjištění a ověření výstupní odezvy vybraných snímačů v závislosti na velikosti měřené veličiny. Tímto způsobem lze získat konkrétní data o chování snímačů v reálných podmínkách a potvrdit či vyvrátit předpokládané charakteristiky. Těmito experimenty se tedy sleduje, jak se výstupní signál mění při různých hodnotách vybrané měřené veličiny. Výsledky experimentů budou sloužit k porovnání s teoretickými průběhy charakteristik a výslednými charakteristikami snímačů. To umožní zhodnocení přesnosti, spolehlivosti a citlivosti těchto snímačů při měření fyzikálních veličin v pístových spalovacích motorech. Splněním tohoto cíle přispěje tato práce k lepšímu pochopení jejich využití a možností optimalizace pro konkrétní aplikace v automobilovém průmyslu.

2.2 Metodika

Metodika řešení této problematiky je založena na komplexním studiu a analýzách odborných informačních zdrojů týkajících se snímačů fyzikálních veličin pro pístové spalovací motory. Prvním krokem bylo detailní seznámení se s principy fungování jednotlivých typů snímačů.

Dále byly studovány jejich měřicí principy a charakteristiky včetně výstupních signálů a křivek odezvy. Po teoretickém základu následovala fáze experimentálního ověření, kde byly vybrané snímače testovány v reálných podmínkách. Během experimentů byla měřena výstupní odezva snímačů při různých hodnotách měřené veličiny. V této metodice hrály klíčovou roli důkladné přípravy a kalibrace měřících zařízení a technik. Data získaná z experimentů byla pečlivě zaznamenána a následně analyzována s cílem porovnání s teoretickými modely a očekávanými charakteristikami snímačů.

Z výsledků analýz a experimentů byly formulovány závěry, které shrnují chování a vlastnosti jednotlivých snímačů fyzikálních veličin pro pístové spalovací motory. Tyto závěry budou sloužit jako podklad pro lepší pochopení a aplikaci těchto snímačů v praxi, zejména v oblasti monitorování a optimalizace provozu motorů v automobilech. Celkově tato metodika kombinuje teoretický základ s praktickými experimenty, což umožňuje získání komplexního a důkladného pohledu na problematiku snímačů fyzikálních veličin pro pístové spalovací motory.

3 Měření provozních hodnot pomocí snímačů fyzikálních veličin

Snímače na motoru jsou klíčovými komponentami vozidla, monitorující provozní parametry motoru a výslednou produkci emisí. Pomáhají udržovat optimální směs paliva a vzduchu pro minimalizaci škodlivých emisí. Sledují parametry motoru, včetně teploty, tlaku vzduchu a otáček, což umožňuje systému řízení motoru optimalizovat výkon a účinnost.

Dále slouží k diagnostice poruch, detekují abnormální podmínky a poruchy, což usnadňuje rychlou identifikaci a opravu problémů. Měření spotřeby paliva je další důležitou funkcí, kde snímače optimalizují směs paliva a vzduchu pro co nejlepší účinnost palivové soustavy. Moderní systémy řízení motoru jsou schopny adaptivně reagovat na různé jízdní podmínky, díky sběru dat od snímačů a následné vyhodnocení řídicí jednotkou. Tím se motor přizpůsobuje aktuálním podmínkám a zlepšuje celkovou jízdní zkušenost. Snímače chrání motor monitorováním klíčových parametrů, jako je například tlak oleje nebo teplota chladicí kapaliny. Snímače také přispívají k celkové spolehlivosti motoru.

3.1 Snímač tlaku

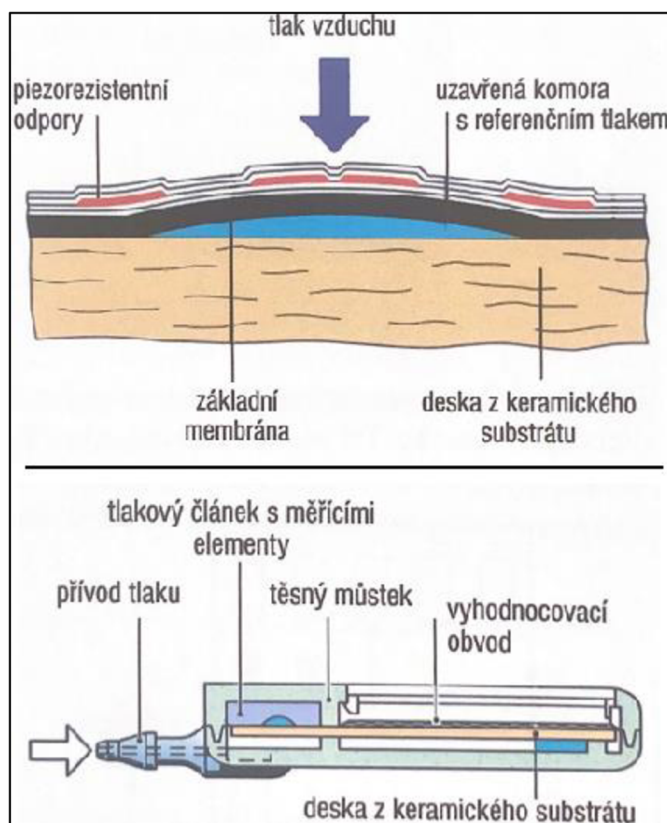
Snímač tlaku je zařízení, které slouží k měření tlaku v určitém prostředí, buď v plynném nebo kapalném. Existuje několik různých typů tlakových senzorů, ale v zásadě všechny pracují na principu převodu mechanického tlaku na elektrický signál.

3.1.1 Membránový tlakový snímač

V konstrukci snímače se vyskytuje tlakový článek s dvěma měřícími prvky, konkrétně membránou a oblastí s vyhodnocovacím obvodem. Obě tyto komponenty jsou umístěny na keramické desce. Deformace membrány v reakci na tlak je klíčovým faktorem, přičemž na membránu jsou aplikovány piezorezistenční členy, které reagují na mechanické napětí změnou odporu. Tento odpor je předáván do můstkového uspořádání, což umožňuje pohyb můstku v souladu s vychýlením membrány pod tlakem. Velikost napětí na můstku pak odpovídá intenzitě působícího tlaku, což umožní přímé měření tlaku pomocí elektrického signálu. Fungování tohoto snímače tedy spočívá ve využití piezorezistenční technologie pro detekci tlaku a převod těchto mechanických změn na elektrický signál, který je proporcionální velikosti působícího tlaku. Na tomto principu funguje MAP (Measure Air

Pressure) snímač. [1] Druhým způsobem jsou snímače s tenzometrickými prvky namísto piezoelektrických členů. Principem tohoto snímače je deformace specifického prvku pod vlivem síly generované rozdílem tlaků. Klasicky je deformace membrány snímána speciálním snímačem polohy, kdy membrána reaguje v závislosti na vyšší hodnotu absolutního tlaku. Moderní přístupy používají křemíkovou destičku, na které jsou umístěny čtyři tenzometry propojené do můstkového zapojení a jsou integrovány se zesilovačem signálu. Tlakový vliv způsobuje deformaci destičky, což mění odpor tenzometrů, a zároveň narušuje rovnováhu můstku. Výsledné napětí na výstupu zesilovače pak odpovídá deformaci destičky, a tedy působícímu tlaku. [2] Nutno zmínit, že tloušťka membrány je konstrukčně u obou typů snímače vyrobena v závislosti na měřeném tlaku. Tam, kde je snímán tlak vyšší, je tloušťka membrány větší. Tyto typy senzorů se často využívají například k měření okamžité hodnotě tlaku v sacím traktu motoru, měření tlaku oleje v olejovém okruhu motoru, snímání tlaku paliva v nízkotlaké a vysokotlaké větvi palivové soustavy. [2]

Obrázek 1 : Snímač tlaku – princip a konstrukce



Zdroj: Příručka pro řidiče a opraváře automobilů [34]

3.1.2 Diferenční snímač tlaku

Diferenční snímač tlaku je zařízení, které slouží k měření rozdílu tlaku mezi dvěma bodovými místy nebo prostředími. V podstatě se jedná o stejný typ snímače jako membránový, ovšem s tím rozdílem, že disponuje dvěma měřicími komorami, dvěma membránami a vyhodnocovacími jednotkami. V automobilovém kontextu se diferenční snímače tlaku často používají v systémech, které monitorují funkci filtru pevných částic (DPF) v dieselových motorech. Celkově diferenční snímač tlaku v DPF (Diesel Particulate Filter) systému pomáhá monitorovat stav filtru a umožňuje řídicímu systému přijímat opatření k zachování jeho správné funkce. [3]

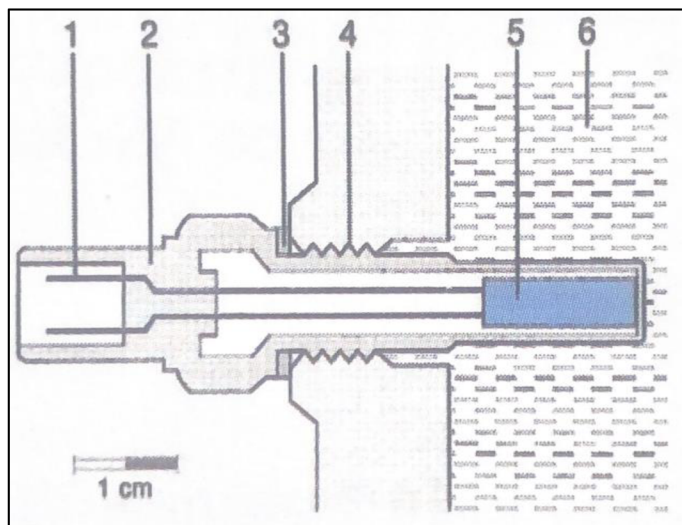
3.2 Snímač teploty

Snímače teploty slouží pro snímání teploty a následné předávání informací řídicí jednotce. V dnešní době se senzory teploty užívají v podobě termistorů. Je více způsobů snímání teploty, ovšem tato alternativa je nejjednodušší a nejpraktičtější. [3] Termistory jsou typu NTC (Negative Temperature Coefficient) a PTC (Positive Temperature Coefficient). Rozsah použití PTC snímačů teploty v automobilovém průmyslu je menší, nejvíce teplotních snímačů lze nalézt právě typu NTC. Dalším způsobem snímání teploty jsou termočlánky. [3]

3.2.1 Snímač typu NTC

Senzor typu NTC monitoruje teplotu chladící kapaliny, oleje, vzduchu a paliva. [3] Termistor NTC je umístěn v ochranném pouzdře. Díky zápornému teplotnímu koeficientu odporu s narůstající teplotou nelineárně klesá elektrický odpor snímače. Naopak při vysoké teplotě se odpor termistoru výrazně sníží a napětí na něm klesne na nízkou hodnotu. [4] Typické hodnoty pro termistory používané v motorových vozidlech se pohybují od několika k Ω při 0 °C do několika set ohmů při 100 °C. [3]

Obrázek 2 : Snímač teploty – konstrukce



Legenda: (1 – přípojka, 2 – pouzdro, 3 - těsnící kroužek, 4 – závit, 5 - měřící rezistor, 6 – měřené médium)

Zdroj: Příručka pro řidiče a opraváře automobilů [34]

3.2.2 Snímač typu PTC

U termistoru PTC při zvyšující teplotě roste odpor a při snižující teplotě zase naopak odpor klesá. To je jeden z hlavních rozdílů PTC a NTC termistorů. Na rozdíl od NTC rezistorů mají PTC rezistory menší závislost na změně odporu vůči teplotě. [5] Jejich přednost spočívá v téměř lineární závislosti odporu na teplotě a vysoké přesnosti odporu, což usnadňuje a zjednodušuje interpretaci měření. Běžně se využívají platinové a polovodičové rezistory. Polovodičové rezistory PTC vykazují dvojnásobnou citlivost oproti platinovým. Tyto senzory jsou velmi dobře reprodukovatelné, avšak mohou pracovat pouze do teploty 150 °C a v některých speciálních provedeních výjimečně až do 300 °C. [6]

3.3 Snímač polohy

Snímače polohy u spalovacích motorů jsou zařízení, která monitorují aktuální polohu nebo pohyb určitých částí motoru. Tyto snímače jsou hlavními komponentami, které poskytují důležité informace o stavu a činnosti motoru. Jejich hlavním účelem je sledovat polohu pohybujících se komponent a přenášet tato data do řídicího systému motoru. Díky informacím získaných ze snímačů polohy může systém řízení motoru optimalizovat předstih, správně nastavit vstřikování paliva a efektivně zkoordinovat chod různých částí motoru. Tyto snímače nalezneme ve více možnostech provedení, kde každý využívá jiný princip

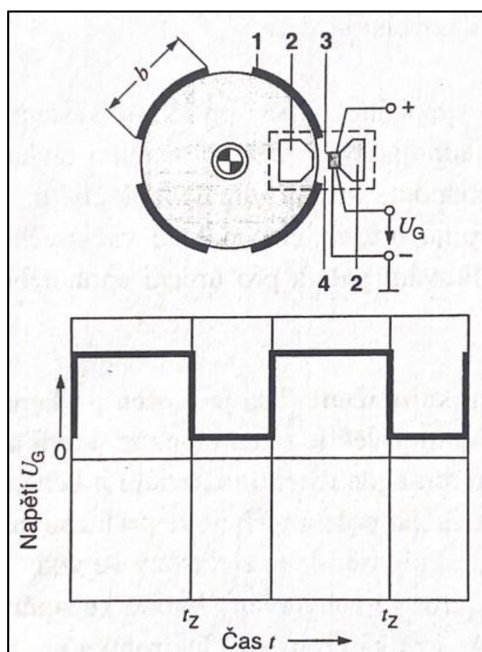
snímání. V následujících podkapitolách budou popsány možnosti snímání pohybu u motorových komponent.

3.3.1 Hallův snímač polohy

Tento typ snímače snímá polohu segmentu, nejčastěji polohu vačkového hřídele. Funguje na principu Hallova jevu. Je tvořen prvkem, jehož polovodičová destička je prostoupena elektrickým proudem. Prvek je ovládán částí s clonkami, který je pevně spjat s rotující součástí a pohybuje se s ní. Clonka je vyrobena z feromagnetického materiálu, a při jejím otáčení dochází k pravidelnému přerušování permanentního magnetického pole. [7] V důsledku tohoto pohybu vzniká v Hallově prvku napětí kolmé k směru magnetického toku. Když se elektrony vodiče, který je prostoupen magnetickým polem, pohybují, jsou vychylovány kolmo ke směru proudu a kolmo ke směru magnetického pole. Při otáčení součásti se clonky rotoru pohybují bezdotykově v magnetické závoře vzduchové mezery. Když je mezera prázdná, magnetické pole prochází integrovaným obvodem a Hallova vrstva dosahuje vysoké hustoty magnetického toku, což způsobuje maximální Hallovo napětí. Integrovaný obvod Hallova senzoru je aktivní. Jakmile se clonka dostane do vzduchové mezery, část magnetického toku se ztratí, a tak magnetický tok nedosahuje do integrovaného obvodu. Tím hustota magnetického toku na Hallově vrstvě klesá na malou zbytkovou hodnotu a Hallovo napětí dosahuje minima. Protože Hallovo napětí má velikost v milivoltech, snímač upraví napětí a do řídicí jednotky jsou přivedeny pravoúhlé impulzy ve formě spínání.

Většinou právě signál ze snímače polohy vačkového hřídele je používán jako náhradní signál pro nouzový běh motoru při nefunkčnosti snímače otáček klikové hřídele. Je to zapříčiněno díky speciálně tvarovaným clonkám pevně spojené s vačkovou hřídelí. Avšak tento signál nemůže být použit jako hlavní signál snímání otáček v normálním provozu pro jeho malou rozlišitelnost, proto je použit signál z indukčního snímače klikové hřídele. [1]

Obrázek 3 : Hallův snímač polohy – konstrukce a výstupní signál ze snímače



Legenda: (1 - clonka s šířkou b , 2 - slabě magnetický vodivý prvek s trvalým magnetem, 3 - Hallův integrovaný obvod, 4 - vzduchová mezera)

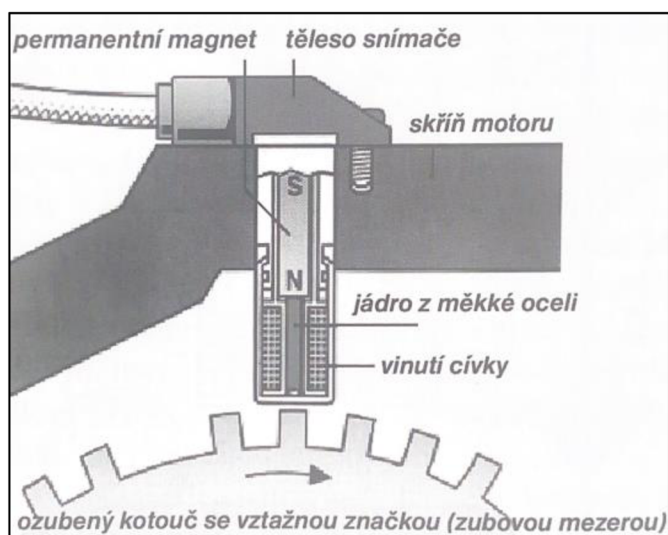
Zdroj: Příručka pro řidiče a opraváře automobilů [34]

3.3.2 Indukční snímač polohy

Základem indukčního snímače je vliv magnetického toku v magnetickém obvodu (budicím obvodu), který vytváří trvalý magnet na vodič cívky. Měřená neelektrická veličina obvykle ovlivňuje rychlost změny magnetického toku, který je propojen se závitou pevné cívky. V případě těchto elektromagnetických snímačů se magnetický tok mění změnou magnetického odporu v magnetickém obvodu. Výstupní napětí snímače je pak proporcionální rychlosti pohybu feromagnetické součásti. Amplituda střídavého napětí se snižuje s větší vzdáleností mezi snímačem a feromagnetickým segmentem a rychle roste s rostoucím počtem otáček. [2] Minimální potřebná amplituda je dosažena při nejméně dvou otáčkách za minutu. Umístění snímače je klíčové, aby mezera mezi zuby kola a snímačem byla co nejmenší (přibližně 1 mm). Výhodou indukčních snímačů je jejich provozní spolehlivost a jednoduchost. Naopak jejich negativní stránkou je závislost tvaru impulsu a amplitudy na úhlové rychlosti otáčení. Proto je tento typ snímání otáček (polohy) nepoužitelný pro malé otáčky. Jedním z běžných typů snímače s otevřeným magnetickým obvodem, používaným k měření otáček, je snímač polohy klikové hřídele. V tomto konkrétním případě má feromagnetická součást podobu ozubeného kotouče s 58 zuby a zubovou mezerou o šířce obvykle 2 zuby. Tato mezera slouží k indikaci nulové polohy

ozubeného kotouče, který je pevně spojen s klikovou hřídelí. U velké části dnešních indukčních snímačů se sinusový signál převádí na obdélníkový. Případně u snímače polohy klikového hřídele je použit Hallův snímač, jehož signálem je obdélníkový průběh. [1]

Obrázek 4: Indukční snímač polohy – konstrukce



Zdroj: Příručka pro řidiče a opraváře automobilů [34]

3.3.3 Odporový snímač polohy

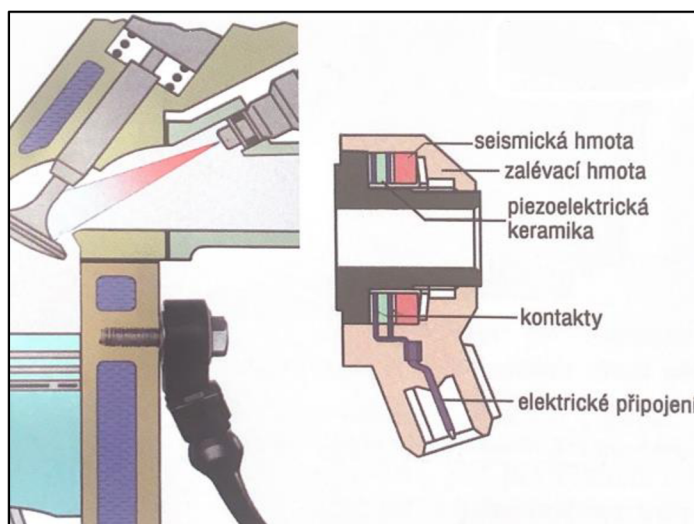
U tohoto typu sledování polohy je zapojený variabilní rezistor jako měřicí potenciometr či reostat. Potenciometrické snímače jsou často využívány ve spalovacích motorech. Typickým příkladem je pak snímač měřící polohu škrtkovací klapky. V tomto provedení je segment umístěn přímo v těle škrtkovací klapky, kde je jezdec spojen s hřídelkou. Jakmile dochází ke změně polohy klapky, dojde k úpravě výstupního napětí v závislosti na odporu vyvolaném jezdcem na odporových páscích. [1] Odporová dráha může být buď přímočará nebo kruhová, přičemž konstrukcí této dráhy lze snadno dosáhnout různých funkčních průběhů mezi elektrickým odporem a polohou jezdce. Většinou se upřednostňují potenciometry s kruhovou dráhou, kde je důležité, aby pracovaly spolehlivě bez významného zhoršení přesnosti. Tento typ snímače se používá například jako již zmiňovaný snímač polohy škrtkovací klapky u zážehových motorů, nebo také jako snímač polohy EGR (Exhaust Gas Recirculation) ventilu. [2]

3.4 Snímač vibrací

Snímač vibrací je zařízení navržené k detekci a monitorování vibrací ve spalovacích motorech. Tento typ snímače je široce využíván nejen v automobilovém odvětví, ale také

v odvětvích, jako jsou energetika, průmyslová výroba a stavebnictví. Hlavním účelem snímače vibrací je sledovat dynamické pohyby a vibrace, které mohou signalizovat různé podmínky, včetně opotřebení, nevyváženosti, nebo neobvyklých mechanických zátěží. Principem snímače vibrací je piezoelektrický jev, kdy působení síly na určité materiály indukuje elektrické napětí. Klíčovým prvkem je destička vyrobená z bariem-titanové keramiky, která projevuje piezoelektrický efekt. Tento konkrétní typ snímače se využívá jako senzor klepání u zážehových motorů. Jeho hlavním účelem je identifikovat případné klepání vlivem detonačního hoření paliva, což může být nebezpečné a vést k poškození motoru. Když snímač zachytí signál, který se vyskytuje ve frekvenčním pásmu klepání, informuje řídicí jednotku motoru, která může okamžitě upravit parametry chodu motoru, snížit dobu zážehu daného válce motoru nebo například uvedení provozu motoru do nouzového režimu. Tímto režimem se docílí prevenci k snížení potenciálních poškození. [2]

Obrázek 5: Snímač klepání a jeho umístění na motoru



Zdroj: Příručka pro řidiče a opraváře automobilů [34]

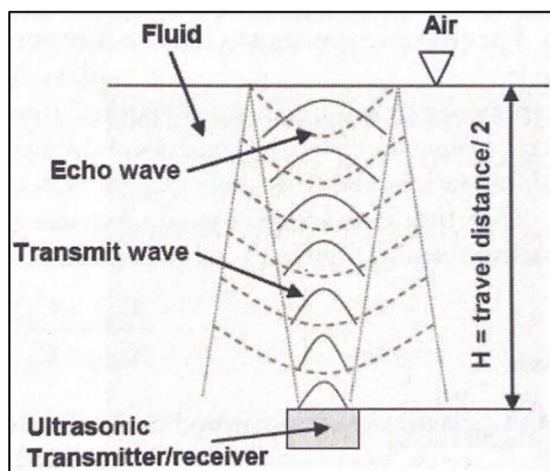
3.5 Snímač hladiny

Snímače hladiny jsou klíčovými součástmi, které umožňují řídicím systémům vozidla monitorovat aktuální stav hladiny paliva, chladicí kapaliny, a u snímače hladiny oleje také kvalitu kapaliny. Rozdíl mezi těmito snímači je právě hlavně princip fungování daného snímače.

3.5.1 Snímač hladiny oleje

Snímač hladiny oleje se skládá z vyhodnocovací elektroniky a měřicí trubice ve které se nachází motorový olej. [8] Součástí tohoto zařízení je také snímání teploty oleje na principu odporové změny na teplotě NTC, který je již popsán výše. Vyhodnocovací elektronika generuje ultrazvukové impulsy, které se odrazí na místě, kde dochází k přechodu oleje do vzduchu (tzv. „echo impuls“). Tato vyhodnocovací elektronika přijímá a zesiluje „echo impulsy“, které jsou následně konvertovány na digitální signál. Vzdálenost, kterou zvuková vlna urazí, je zásadním faktorem, který určuje dobu zpoždění echa. Vyhodnocovací elektronika analyzuje tuto dobu zpoždění a na základě této informace vypočítává hladinu oleje. Zpoždění šířícího se echo impulsu zásadně ovlivňují změny v motorovém oleji například stárnutí nebo infiltrace motorového oleje znečišťujícími látkami a také teplota motorového oleje. [9] Předchůdcem tohoto typu měření byl kapacitní snímač, ovšem problémem bylo nepřesné měření kvality a znečištění motorového oleje. [8]

Obrázek 6: Snímač hladiny oleje – princip funkce



Zdroj: Automotive Sensors [37]

3.5.2 Snímač hladiny chladicí kapaliny

Snímač hladiny chladicí kapaliny je kapacitní snímač a slouží k detekci hladiny kapaliny v expanzní nádrže. Principem tohoto snímače je kondenzátor tvořený ze dvou elektrod umístěných v nádobce. Mezi elektrodami je mezera, v níž se nachází chladicí kapalina (dielektrikum). Vlivem změny hladiny chladicí kapaliny (dielektrika) se změní kapacita a tím se změní výstupní hodnoty snímače. Vlivem této změny rozpozná řídicí jednotka výšku hladiny chladicí kapaliny. [10] Kapacitní snímače mají tu výhodu, že

nevyžadují pohyblivé části, jako jsou plováky, což může přinášet větší spolehlivost a trvanlivost. [11]

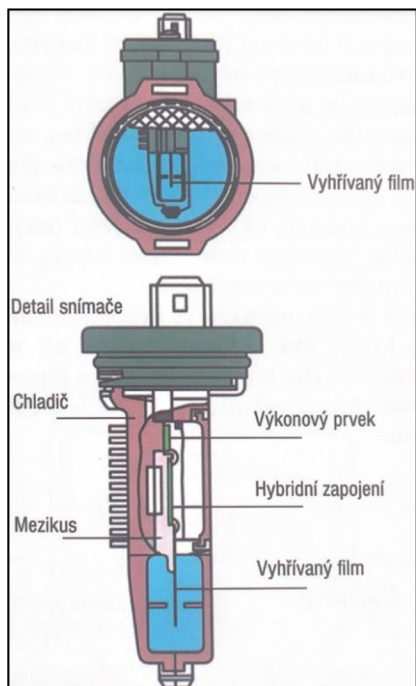
3.6 Snímač průtoku vzduchu

Snímač průtoku vzduchu, který je často označován jako MAF (Mass Airflow Sensor), je elektronické zařízení navržené k měření množství vzduchu, které vstupuje do motoru vozidla. Tento parametr je klíčový pro řízení směsi paliva a vzduchu, což má vliv na výkon a efektivitu spalování motoru. Používá se několik typů, ovšem hlavními jsou snímače s vyhřívaným filmem a snímače s vyhřívaným drátkem.

3.6.1 Měřič hmotnosti vzduchu s vyhřívaným filmem

V měřiči hmotnosti vzduchu s vyhřívaným filmem je ohřevné tělísko utvořeno tenkým platinovým filmem, který je umístěn na keramické destičce spolu s dalšími komponentami a ty jsou společně zapojeny v můstku s regulačním obvodem. Platinovým filmem teče proud, který tento film zahřívá na danou teplotu. Část můstku tvoří také teplotně závislý odpor, díky němuž se snímá teplota vyhřívaného filmu. Mezi vyhřívaným filmem a teplotním snímačem se nachází vzduchový prostor. Z důvodu proudícího vzduchu touto vzduchovou mezerou se mění teplotní tok na snímač teploty, kdy proudící vzduch tento tok ochlazuje, a tak se mění jeho odpor. Napětí je poté elektronicky převedeno měřičem hmotnosti vzduchu s vyhřívaným filmem na digitální hodnotu pro řídicí jednotku motoru. [1]

Obrázek 7: Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem – konstrukce

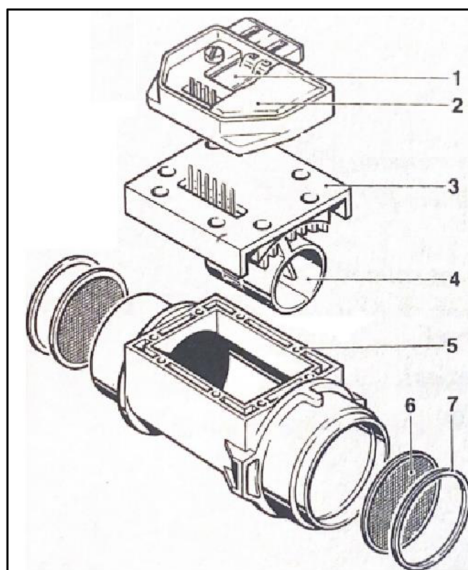


Zdroj: Příručka pro řidiče a opraváře automobilů [34]

3.6.2 Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním drátkem

U tohoto typu snímače se nachází vyhřívané tělísko ve formě platinového drátku. Jeho tloušťka je obvykle 70 μm . V tomto snímači je umístěn regulační obvod, který se skládá z můstkového zapojení a zesilovače. Součástí je též integrovaný kompenzační odpor, který slouží pro kompenzaci teploty nasávaného vzduchu. Vyhříváný segment a senzor teploty vzduchu jsou umístěny na můstku, kde plní funkci teplotně závislých odporů. Elektrický proud procházející vyhříváním drátkem generuje na měřicím zařízení napěťový signál, který je přímo úměrný průtočnému množství vzduchu a putuje k řídicí jednotce. [1]

Obrázek 8: Měřič hmotnosti vzduchu s vyhřívaným drátkem – konstrukce



Legenda: (1- hybridní zapojení, 2- víko, 3- kovová vložka, 4- vnitřní trubka se žhaveným drátkem, 5- těleso měřiče, 6- ochranné sítko, 7- jistící kroužek)

Zdroj: Elektronické systémy motorových vozidel [1]

3.7 Snímač zbytkového kyslíku ve spalínách (lambda sonda)

Lambda sondy jsou zařízení používaná v automobilovém průmyslu k měření množství kyslíku ve výfukových plynech motoru. Důležitým faktorem pro funkci tohoto snímače je součinitel λ . Tento senzor je hlavním podnětem pro regulaci palivové směsi.

Hlavní funkcí lambda sondy je snímání zbytkového kyslíku ve spalínách, čímž předává informaci řídicí jednotce pro optimalizaci směsi paliva a vzduchu. U spalovacích motoru jsou umístěny na výfukovém potrubí. Regulační lambda sonda a monitorovací lambda sonda generují napěťový signál na základě obsahu kyslíku ve výfukových plynech. Kvůli stále přísnějším emisním normám se u novodobých vznětových motorů též nachází na výfukovém potrubí lambda sonda. Tento signál je pak interpretován řídicím systémem motoru, který upravuje množství dodávaného paliva do motoru tak, aby byla dosažena optimální směs pro spalování. Pro správnou funkci musí být lambda sonda dostatečně zahřátá na pracovní teplotu, která dosahuje teplot od 300 do 800 °C. V lambda sondách je umístěn vyhřívací prvek, aby teplota senzoru kyslíku vystoupala na pracovní teplotu v co nejkratší době. Dříve lambda sondy tímto segmentem vybaveny nebyly. Lambda sonda existuje několik typů. Tyto typy se liší v pásmu hodnot výstupního napěťového signálu a v principu činnosti. [12] [7]

3.7.1 Součinitel λ

Tento parametr vyjadřuje poměr aktuálního množství vzduchu, které vstupuje do motoru, k optimálnímu množství vzduchu, které by bylo nutné pro úplné spálení paliva. Součinitel přebytku vzduchu (lambda) je měřítkem, jak se aktuální směs přibližuje nebo odchyluje od optimální hodnoty. Hodnoty lambda se často pohybují kolem 1 pro stechiometrickou směs. Když je součinitel lambda menší než 1, znamená to, že motor pracuje s nadbytkem paliva (bohatou směsí). Na druhou stranu, pokud je součinitel lambda větší než 1, motor pracuje s větším množstvím vzduchu (chudou směsí). [13] [14]

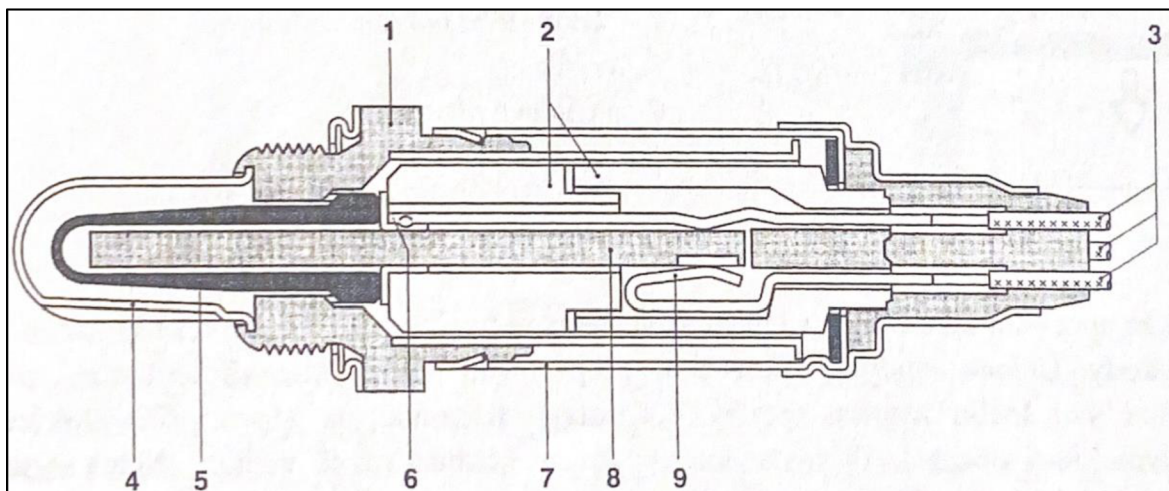
$$\lambda = \frac{\text{množství spotřebovaného vzduchu}}{\text{množství potřebnému vzduchu}}$$

Například u zážehových motorů se k optimálnímu spálení 1 kg benzínu musí spotřebovat 14,7 kg vzduchu. [12]

3.7.2 Dvoubodová lambda sonda

Dvoubodová lambda sonda se skládá z pevného elektrolytu a elektrod. Pevný elektrolyt lambda senzoru se skládá z keramického materiálu ve formě oxidu zirkoničitého a je ve tvaru uzavřené trubice. Vnitřní a vnější povrch této trubice pokrývají elektrody, jejichž složení je mikropórovitá platinová vrstva. Principem dvoubodové lambda sondy je zahřátí segmentu na pracovní teplotu, což u tohoto typu senzoru bývá 300 °C a následné monitorování zbytkového kyslíku ve spalinách. Při této teplotě začíná být oxid zirkoničitý vodivý a začíná vést mezi ním a elektrodami kyslíkové ionty. Tyto vodiče mají důležitý vliv na chování sondy. Uvnitř pevného elektrolytu se nachází referenční vzduch vzat z okolí a na opačné straně (vnější) je v přímém styku se spalinami proudící z motoru. Z okolního vzduchu, kde je vyšší koncentrace kyslíku, proudí ionty kyslíku směrem do pevného elektrolytu (oxidu zirkoničitého) k nižší koncentraci kyslíku (spaliny), a tím vzniká napětí na elektrodách. [1] [12]

Obrázek 9: Dvoubodová vyhříváná lambda sonda – konstrukce



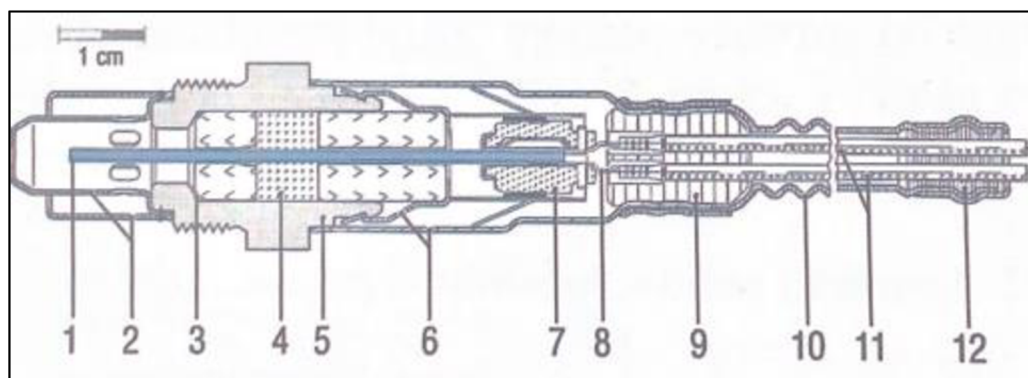
Legenda: (1- těleso sondy, 2- keramická ochranná trubka, 3- elektrické kontakty, 4- ochranný klobouček se zářezy, 5- aktivní keramika sondy, 6- kontaktní část, 7- ochranné pouzdro, 8- vyhříváný element, 9- svorkové připojení topného segmentu)

Zdroj: Elektronické systémy motorových vozidel [1]

3.7.3 Širokopásmová lambda sonda

Tento typ senzoru je tvořen z čerpacího článku, monitorovací komory a Nernstovo článku. Toto zařízení na rozdíl od předešlého typu pracuje v širokých pásmech. Pomocí širokopásmové sondy lze kvalitně regulovat složení směsi v okolí vyvážené směsi pro správnou funkčnost a účinnost katalyzátoru. Tento typ snímače se používá také právě u vznětových motorů, pro jeho měření v širších pásmech koncentrace kyslíku ve spalínách. Konstrukčně toto zařízení vypadá tak, že na jedné straně čerpacího článku je v přímém styku s výfukovými plyny a na opačné straně s měřicí komorou. Nernstův článek je též ve styku s měřicí komorou, ale na druhé straně je vázán s okolním vzduchem. Princip širokopásmové lambda sondy je také transportace iontů kyslíku v závislosti na změně napětí. Na obou člancích jsou oddělené elektrické obvody. Obsahem měřicí komory jsou právě spaliny. Nernstův článek změní díky rozdílu kyslíkových iontů napětí. Čerpací článek mění polaritu právě tehdy, pokud se v monitorovací komoře nachází vyšší, nebo nižší koncentrace kyslíku. Například když je koncentrace kyslíku v měřicí komoře vysoká (chudá směs), v obvodu Nernstova článku poklesne napětí a na obvodu čerpacího článku se objeví kladná polarita právě pro redukci kyslíku v monitorovacím článku. Na druhou stranu, když je koncentrace kyslíku nízká (bohatá směs), tak na Nernstovo článku je vyšší napětí a na čerpacím článku je záporná polarita. [15] [16]

Obrázek 10: Širokopásmová lambda sonda – konstrukce



Legenda: (1- měřicí komora, 2- ochranná trubka, dvojitá, 3- těsnění, 4- hmota těsnění, 5- pouzdro sondy, 6- ochranná objímka, 7- držák kontaktu, 8- přípojovací klips, 9- průchodka z teflonu, 10- tvarová hadice, 11- přívodní vodiče 5ks, 12- těsnění)

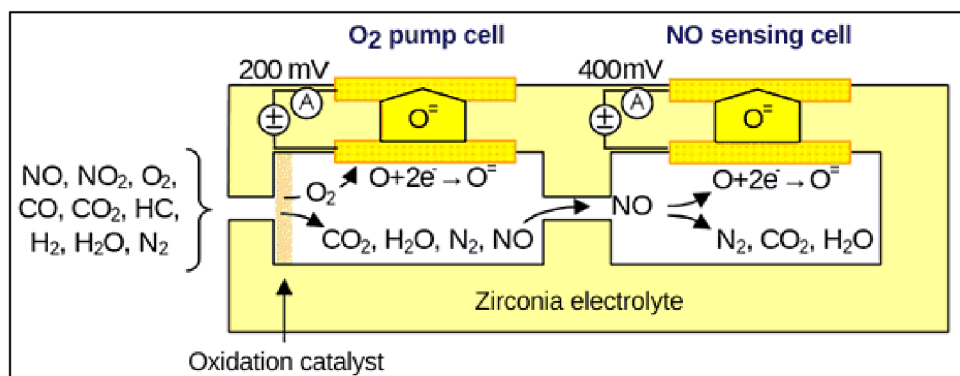
Zdroj: Příručka pro řidiče a opraváře automobilů [34]

3.8 Snímač oxidů dusíku

Snímač NO_x je důležitá součást moderních emisních systémů v automobilech se spalovacími motory. Funkcí tohoto typu snímače je snímání oxidů dusíku obsažených ve výfukových plynech. Snímač NO_x je umístěno na výfukovém potrubí za SCR (Selective Catalytic Reduction) katalyzátorem. Výstupní signál ze senzoru je využit systémem řízení emisí k monitorování a regulaci obsahu NO_x pro splnění příslušné emisní normy. Na základě výstupních hodnot z tohoto snímače řídicí jednotka vozidla upravuje parametry motoru, včetně poměru vzduch/palivo, časování vstřikování paliva a recirkulace výfukových plynů (EGR). Tímto způsobem se dosahuje efektivnějšího a ekologičtějšího spalovacího procesu, což v konečném důsledku snižuje emisi škodlivých látek. Senzor NO_x je schopen detekovat úroveň NO_x od 10 ppm. [17] [18] Monitorovací systém NO_x senzoru je velmi podobný principu lambda sondy. Skládá se z pevného elektrolytu vyrobeného z keramiky na bázi oxidu zirkoničitého, čerpacího článku pro odebrání kyslíku ze spalin a snímacího článku pro odebírání kyslíku z rozkladu NO_x . Stejně jako u širokopásmové lambda sondy jsou oba články opatřeny elektrodami tvořící vlastní obvod článku. Zmiňované články jsou na jedné straně ve styku s výfukovými plyny a na druhé straně s okolním vzduchem. Mezi články je přepouštěcí kanál. Principem funkce je opět uvolnění iontů kyslíku do pevného elektrolytu. V čerpacím článku je O_2 redukován a výsledné kyslíkové ionty jsou čerpány přes zirkoniový elektrolyt při předpětí přibližně 200 mV až 400 mV. Napětí čerpacího článku je úměrné koncentraci O_2 . Zbývající prvky výfukových plynů difundují do druhého článku, kde redukční katalyzátor způsobí rozklad NO_x na N_2 a O_2 . Stejně jako u prvního článku, určité

předpětí aplikované na elektrodu disociuje výsledný O_2 , který je pak čerpán z článku. Přepětí aplikované na snímací článek NO bývá přibližně 400mV. Čerpací napětí snímacího článku je úměrné množství kyslíku právě z rozkladu NO_x . Následně řídicí jednotka pracuje s výstupními napětími ze senzoru NO_x . [18] [19]

Obrázek 11: Snímač NO_x – princip funkce



Zdroj: www.dieselnet.com/tech [19]

4 Přenos fyzikálních veličin do řídicích jednotek

Pomocí snímačů se měřené fyzikální veličiny konvertují na elektrické výstupní hodnoty, s kterými již řídicí jednotka umí pracovat. Ovšem tyto vygenerované signály jsou potřeba přenést do řídicí jednotky, kde se tyto signály dále zpracovávají. Pokud jsou cesty mezi snímačem a řídicí jednotkou dlouhé, používají se proudové smyčky, které snižují vliv rušení. Přenos signálu ze snímače do řídicí jednotky může probíhat několika různými způsoby podle typu senzoru a potřeb aplikace. Některé snímače generují analogový signál, kde napětí nebo proud odpovídá měřeným hodnotám. Ovšem dnešní moderní snímače často používají digitální signály. Dalšími typy přenosů ve vozidle jsou signály, které se přenáší bezdrátově, využívající bluetooth, Wi-Fi nebo jiné bezdrátové technologie, avšak tyto přenosy nejsou v motorovém prostoru uskutečněny. Celkově způsob přenosu závisí na konkrétních požadavcích dané aplikace, včetně spolehlivosti, rychlosti přenosu a dalších specifikací. V následující části jsou popsány jednotlivé druhy signálu a jejich podskupiny.

4.1 Proudová smyčka

Podstatou proudové smyčky je využití přenosu informace pomocí proudu místo napětí. Napětí díky vnitřnímu odporu vodiče ubývá, a proto je konečná informace posílána po fyzické vrstvě zkreslená. Proudová smyčka je využívána pro její odolnost vůči rušení a využívá se v místech kde je detekováno vyšší rušení z okolního prostředí. Pokud by bylo detekováno rušení v proudové smyčce, použije se fyzická vrstva ve formě kroucené dvoulinky, která má vyšší odolnost vůči rušení. Proudová smyčka najde využití také tam, kde je cesta mezi snímačem a řídicí jednotkou dlouhá. Používá se pro přenos jak analogového, tak digitálního signálu. U analogového signálu je možné pracovat s proudy 4 až 20 mA. U digitálního signálu se vodičem posílají jen dvě hodnoty, a to logická 0, což je 4 mV a logická 1 znamenající 20 mV. Nevýhodou této možnosti je nutnost přidání převodníku do obvodu. [20]

4.2 Analogový signál

Analogový signál je typ signálu, který má spojitý charakter. Na rozdíl od digitálních signálů, které jsou diskrétní a pracují s konkrétními hodnotami, analogové signály nabývají hodnoty v nepřetržitém rozmezí. Tyto signály jsou charakterizovány neustálými změnami v čase, kde hodnota signálu je kontinuálně proměnlivá. Obecně analogový signál musí být

pro řídicí jednotku konvertován na digitální, proto je uvnitř řídicí jednotky používán A/D převodník na digitální signál. Analogový signál můžeme dělit podle časového průběhu, podle rozsahu hodnot a podle frekvence. [21] [22]

- **Podle časového průběhu:**

- **Deterministický**

Tento typ signálu můžeme plně předvídat a popsat pomocí matematických rovnic nebo algoritmů. Navíc má pevně definovaný a známý průběh v čase, a jeho chování lze přesně analyzovat a opakovat. Typický deterministický průběh signálu mají sinusové, kosinusové vlny a některé další matematické funkce. [23]

- **Stochastický**

Oproti deterministickému signálu jsou u stochastického signálu hodnoty náhodné a vykazují náhodné kolísání. Často tyto signály jsou popisovány pomocí statistických metod, které popisují pravděpodobnost dalšího chování a vlastnosti jejich hodnot. Příkladem je šum nebo rušení. [23]

- **Podle rozsahu hodnot:**

- **Spojité signál**

Je druhem signálu, který se mění plynule v čase a nemá žádné náhlé přechody nebo skoky a zároveň má hodnotu v každém okamžiku času. [24]

- **Nespojitý signál**

Tento druh signálu není definován pro všechny hodnoty nebo časové okamžiky. V podstatě může existovat jen na omezeném intervalu nebo nespojitých bodech v čase. Tento druh signálu se objevuje spíše u digitálního průběhu signálu, nebo u „vzorkování“ signálu analogového.

- **Podle frekvence:**

Podle frekvence dělíme druhy signálu na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. U nízkofrekvenčních signálů lze pozorovat pomalé výchylky v čase a u vysokofrekvenčních zase rychlé změny v čase na základě jejich frekvence. U frekvence signálu lze také rozpoznávat různé tvary jednotlivých vln, které jsou například sinusový, obdélníkový či trojúhelníkový. [24]

4.3 Digitální signál

Tento typ signálu se jinak nazývá „diskrétní“ a je na rozdíl od analogového signálu nespojitý, pracuje pouze s dvěma hodnotami a to logickou 0 a logickou 1. Pro tyto stavy představuje hodnota napětí mezní hodnoty. Je definován pouze v určitých časových okamžicích a nabývá konečné množiny hodnot. Diskrétní signály se často odvozují z analogových signálů procesem zvaným vzorkování, kdy se spojitý analogový signál měří, nebo vzorkuje v pravidelných intervalech. Každý pulz představuje hodnotu signálu v určitém okamžiku. [25]

4.4 Převodník A/D signálu

A/D převodník (Analog to Digital Converter) je elektronická součástka nebo integrovaný segment určený k převodu spojitého (neboli analogového) signálu na signál digitální. Právě v něm se dějí procesy, kterým se tento signál stane digitálním. Prvním procesem je tzv. „vzorkování“, které spočívá v odebrání vzorků signálu v pravidelných časových intervalech a „kvantování“, což je post-proces vzorkovacího procesu. Zapříčiňuje právě změnu, při kterém se vzorky signálu převedou na číselnou hodnotu v binární soustavě. [26]

4.4.1 Vzorkování signálu

Je proces, při kterém je spojitý signál převeden na diskrétní formu tím, že je vzorkován v pravidelných intervalech a později je reprezentován čísly ve dvojkové soustavě, které mohou být dále zpracovány. Proces vzorkování je důležitým krokem při převodu analogového signálu na digitální formát a je zásadní pro správnou rekonstrukci původního signálu. Kvalita vzorkování je ovlivněna frekvencí vzorkování a musí splňovat Shannonův vzorkovací teorém. Ten stanovuje, že frekvence vzorkování musí být alespoň dvakrát vyšší než nejvyšší frekvence v původním signálu, která se zachycuje. Tím se také docílí, že původní signál lze dobře rekonstruovat a nedochází ke zkreslení. [26]

4.4.2 Kvantování signálu

Podstatou kvantování je zaokrouhlování hodnot signálu. Kvantování většinou následuje v procesu digitalizace signálu hned za vzorkováním. Vzorek je zaokrouhlen vždy na nejbližší kvantovací hladinu. To znamená, že pokud se nachází nad rozhodovací hladinou

zaokrouhlí se nahoru a pokud se nachází pod rozhodovací hladinou zaokrouhlí se dolů. Důležitou roli při kvantování hraje úroveň kvantování, která jasně definuje, jak velkou hodnotu může signál nabývat a také kvantovací krok, který vyjadřuje rozdíl mezi sousedními úrovněmi. Ovšem negativním aspektem při kvantování signálu je „kvantovací šum“, který vzniká právě při větším rozdílu kroku mezi kvantovací úrovní při převodu hodnot analogového signálu na digitální. [27]

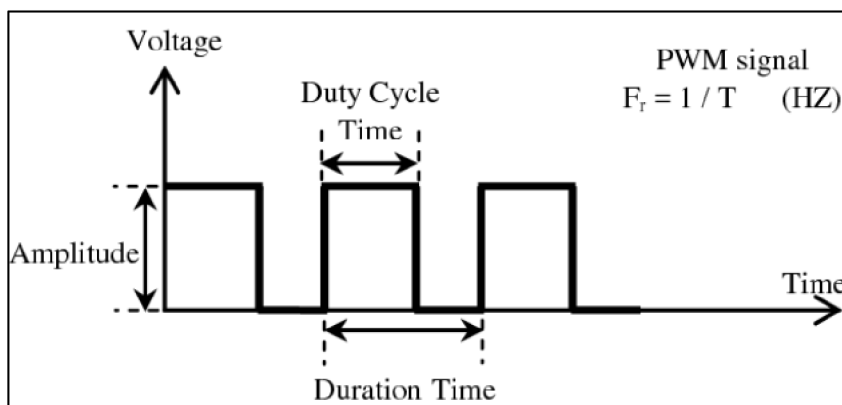
4.5 PWM signál

PWM signál, jinak také pulsní šířková modulace (Pulse Width Modulation) je technologie, která spočívá v přenosu analogového signálu pomocí dvouhodnotového signálu. Signál PWM se skládá z periodického obdélníkového signálu, kde se mění šířka pulsu v závislosti na amplitudě původního signálu. Důležitým parametrem u PWM signálu je tzv. „střída“, která se udává v procentech. Tento pojem znamená poměr mezi dobou, kdy je funkce nenulová a dobou periody. [29] Pokud se změní střída, mění se také napětí. Například, při střídě 50 % a při stavu aktivace 10 V, je signál v aktivním stavu polovinu periody a v neaktivním druhou polovinu periody. Celkové napětí by činilo 5 V. Kdyby střída činila 75 % při stavu zapnutí 10 V, je signál v zapnutém stavu ze 75 % periody a v neaktivním stavu zbylých 25 % při celkovém napětí 7,5 V. Výpočet střídy je znázorněn v následujícím vzorci, kde je poměr mezi intervalem aktivace a interval periody. [28]

$$D = \frac{T_{aktiv}}{T_{perioda}} * 100$$

PWM signál se ve většině případu používá pro řízení určitých akčních členů, ovšem tímto způsobem lze také využít pro komunikační rozhraní. Například tento způsob komunikace mohou využívat ultrazvukový snímač hladiny oleje, senzor polohy vačkové hřídele, nebo také moderní snímače teploty umístěných na spalovacím motoru. [29]

Obrázek 12: Průběh PWM signálu a označení jednoho cyklu



Zdroj: www.researchgate.net [35]

4.6 Komunikační protokoly

Komunikační protokoly jsou sady pravidel a norem, které stanovují způsob, jakým mají zařízení nebo systémy vzájemně komunikovat. V těchto pravidlech se definuje formát, struktura a postupy přenosu dat, které zajišťují, že informace jsou přenášeny spolehlivě. Existuje více druhů komunikačních protokolů, ovšem v následující kapitole budou popsány jen použité pro řízení spalovacího motoru (LIN, CAN, SENT, FlexRay).

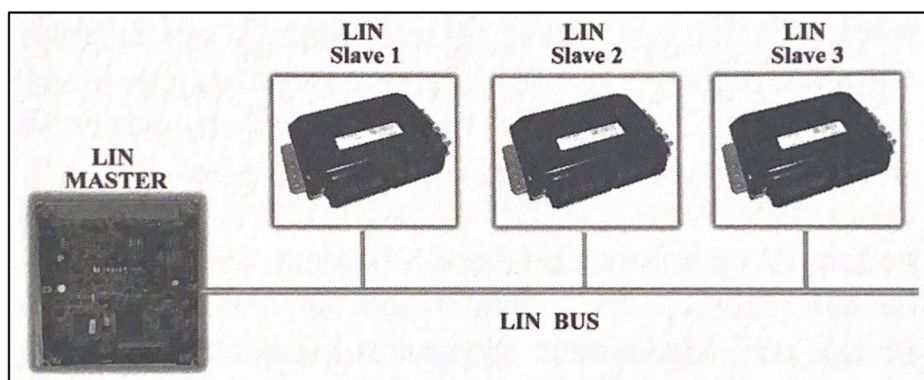
4.6.1 LIN – Bus

Komunikační protokol LIN (Local Interconnect Network) je asynchronní síť, jejíž funkce je na principu Single Master – Multiple Slaves. Jedná se o jednovodičovou sběrnici, která pracuje s digitálním signálem. Single Master v podstatě řídí celou komunikaci kvůli jeho nadřazenosti vůči Multiple Slaves. Při pohybu vozidla vzniká vyšší rušení, a proto jsou limitovány náběhové a sestupné hrany signálu. Stav aktivace (tzn. Log 1) se nazývají stavem recesivním a ve stavu vypnutém (tzn. Log 0) se nazývají dominantní. Tyto stavy jsou klíčové pro komunikaci a určují, který z připojených uzlů má kontrolu nad sběrnici v daný okamžik. Pokud nějaký uzel na sběrnici vysílá dominantní bit a zároveň některý jiný uzel vysílá recesivní bit, pak platí pravidlo "dominantní stav přebírá kontrolu". Dominantní bit vytvoří nižší úroveň napětí, a tím překoná recesivní bit s vyšší úrovní napětí. V normálním režimu komunikace přenáší každý uzel na sběrnici své zprávy tak, že na sběrnici může být přítomen pouze jeden dominantní uzel v každý okamžik. Napěťové úrovně jsou ekvivalentní k napětí akumulátoru. [30]

4.6.1.1 Topologie a rychlost sběrnice

Sběrnice LIN je zapojena ve formě hvězdice, kdy ve středu hvězdy je Master a v okolí jsou Slaves. Sběrnice nemá počet Slaves jednotek omezený, ale doporučuje se maximálně 16 Slaves. Rychlost dat po této sběrnice se pohybuje v rozmezí od 2500 bps (bitů za sekundu) až do 19 200 bps. Rozlišují se na typy Slow, Medium a Fast. Rychlost typu slow je právě minimální rychlost sběrnice. Obdobný případ platí také pro typ fast, kde je rychlost v maximální hranici sběrnic. Rychlost typu medium je 9 600 bps. Tyto typy rychlostí ovšem platí při maximální délce vedení 40 metrů. Motívem, proč tato síť byla vytvořena a využita, bylo snížení ceny fyzické vrstvy sítě. [30]

Obrázek 13: Topologie LIN sběrnice



Zdroj: *Elektronika a elektrotechnika motorových vozidel: seřizování, diagnostika závad a chybové kódy OBD* [30]

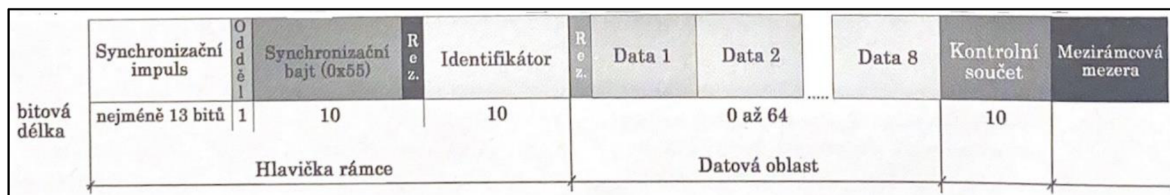
4.6.1.2 Datový rámec zprávy LIN

Datový rámec primárně slouží pro posílání dat mezi jednotkami, ale také k synchronizaci a adresaci, např. hodin mezi jednotlivými jednotkami. Zahájení komunikace učiní Master jednotka optimalizací datové rychlosti sběrnice a pošle hlavičku zprávy v které je zakomponován synchronizační impuls, synchronizační pole a identifikátor příkazů. Slave jednotky tuto zprávu přijmou a nastaví se na rychlost jednotky Master. Jednotka master poté vyšle datovou zprávu pro jednotku Slave 1. Tuto zprávu mohou přijmout i další jednotky typu Slave. Pokud se ale Slave jednotka chystá vysílat datovou zprávu směrem do jednotky Master, tak může tento úkon provést, až poté co Master jednotka obdrží hlavičku zprávy. V identifikátoru jsou umístěny informace o popisu odesílatele (Master), příjemců (Slaves) a velikost datového pole. Rozlišení vysílačů a přijímačů obsahuje 64 možností.

Navíc jsou v identifikátoru umístěny příkazy pro přenos dat, diagnostický rámec Master a Slave a uživatelský rámec. V některých identifikátorech se naskytá příkaz „Go to Sleep“, kdy tento příkaz uspí Slave jednotky a komunikace není aktivní. Vzbuzení jednotek

a aktivaci komunikace poté může provést jakákoliv jednotka. Mimo primární funkci řízení sběrnice disponuje Master také kontrolní funkcí, kdy kontroluje součet datového pole. Kontrola součtu datového pole se provádí kvůli rušení, kdyby mohl být rámec poškozen. Tato kontrola zahrnuje také hlavičku rámce. [30]

Obrázek 14: Datový rámec LIN protokolu



Zdroj: Elektronika a elektrotechnika motorových vozidel: seřizování, diagnostika závad a chybové kódy OBD [30]

4.6.2 CAN – Bus

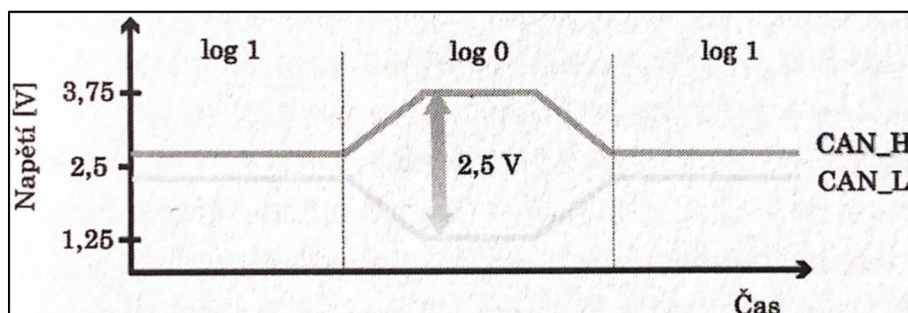
CAN – Bus (Controller Area Network Bus) je spolehlivá asynchronní sběrnice, která je velmi rozšířená v automobilovém průmyslu. Používá pro svoji komunikaci digitální signál a skládá se z uzlů, které jsou spojeny společným vodičem. Díky tomu lze v této síti v daném čase vysílat pouze jednomu uzlu. Vodič je na konci sítě zakončen z obou stran „terminátory“. Toto zařízení je v podstatě rezistor, který zabraňuje odrazům signálu, které by mohly způsobit chyby v přenosu dat. Jeho nominální impedance je 120 Ω. Pokud dojde k přerušení přístupového vodiče uzlu do sběrnice, přenos mezi uzly je stále funkční bez jednoho uzlu. Pokud ale dojde k porušení hlavního vodiče, komunikace je úplně přerušena. U tohoto typu přenosu dat si jsou uzly vzájemně rovny a prioritu má sama zpráva, která tuto prioritu nese v její první části. CAN sběrnice ve vozidlech používá standart SAE J1939, u které může být na síti maximální počet parametrů odpovídající určité sumě identifikátoru zpráv PNG (Parameter Group Number). Po přepočtu vyjde, že maximální počet u standartu SAE J1939 činí 8672 parametrů. U tohoto standartu je obvyklá doba zpoždění zprávy 5 ns v jednom metru vedení. S přibývajícím uzly v síti se snižuje rychlost přenosu. Maximální počet činí 64 uzlů při rychlosti 1 Mbps. Jako přenosový vodič se používá kroucená dvoulinka, kde v jedné proudí signál CAN – Low a v druhé CAN – High. Signály z těchto typů jsou v podstatě vzájemně invertovaný signál.

Komunikaci CAN – Low využívají obvykle komfortní systémy, kde je nepotřebná vysoká rychlost. Důležitější systémy pro provoz vozidla, jako jsou jednotky motoru, podvozku atd., komunikují po větvi CAN – High, kde je důležitá větší přenosová rychlost.

Princip inverze spočívá v narušení sítě indukci, kde se může stát, že indukované napětí v případě jednoho signálu překročí rozhodovací úroveň pro logické 0 nebo logické 1.

To by vedlo k degradaci kvality přenosu zprávy. Když jsou brány v potaz dva vodiče s invertovanými signály, napětí se vlivem indukce zvýší. Kdežto celý systém CAN – Bus vyhodnocuje jejich diferenci, nikoliv absolutní hodnoty signálů. Vyhodnocená diference je indukcí nedotčena. Jestliže bude diference mezi vodiči blízka nule, její stav je vyhodnocen jako logická 1 a jedná se o stav recesivní. Naopak, pokud diference bude na úrovni 2,5 voltu, jedná se o stav dominantní jako logická 0. Význam dominantního a recesivního stavu byl již zmíněn u sběrnice LIN. [30]

Obrázek 15: Průběh signálu CAN protokolu



Zdroj: Elektronika a elektrotechnika motorových vozidel: seřizování, diagnostika závad a chybové kódy OBD [30]

4.6.2.1 Přenosová rychlost sítě a její topologie

Komunikační rychlosti přenosu u sběrnice CAN je realizována dle standardu SAE J1939, která udává maximální přenosovou rychlost při použité maximální délce vedení sítě, která je znázorněna v následující tabulce. [30]

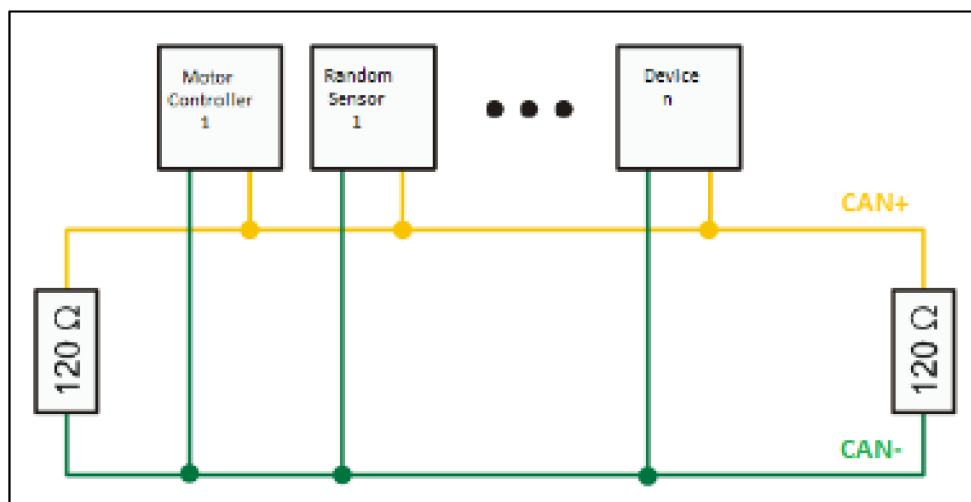
Tabulka 1: Přenosové rychlosti CAN sběrnice v závislosti na délce vedení

Přenosová rychlost	Přípustná délka
10	6700
125	530
250	270
500	130
1000	40

Zdroj: Elektronika a elektrotechnika motorových vozidel: seřizování, diagnostika závad a chybové kódy OBD [30]

Topologie CAN – Bus se nejčastěji používá ve formě liniového zapojení, kde jsou uzly zapojeny v řadě. Ostatní typy zapojení uzlů do sítě, jako jsou topologie hvězdicové, či kruhové se nedoporučují. Důvodem je nutnost udržení spolehlivosti uzlů, nebo uzlu centrálního. [30]

Obrázek 16: Topologie CAN sběrnice se zakončovacími odpory



Zdroj: www.robotsforroboticists.com/can-bus/ [36]

4.6.2.2 Datový rámec CAN sběrnice

Jak již bylo zmíněno, všechny uzly na této síti jsou si rovny, tudíž pracují na formě Multimaster. Ovšem tato síť, musí obsahovat známý mechanismus, který rozhoduje, jaká zpráva bude mít vyšší stupeň priority, a která nižší. Tato sběrnice využívá přiřazení priority vlastnímu rámci, ve kterém se poté nachází zpráva s jednotlivými kanály. Celé této hierarchii se přezdívá „Obsah rámce“. Proces přenosu startuje uzel, který vyšle rámec. Tento rámec je nabízen všem uzlům na síti, ovšem jen některé uzly tento rámec potřebují a ty poté tento rámec přijímají. Komunikace na síti začne pouze pokud je sběrnice „volná“. Kdyby dva uzly v jeden čas posílaly rámec, došlo by ke kolizi. Z toho důvodu je přesně v linkové vrstvě definován akt dle standartu, který zabrání jednotlivým uzlům posílat rámce přes sebe. [30]

V určitém případě může nastat stav, kdy zprávu chce poslat více uzlů najednou. V tomto případě nastává tzv. „arbitráž“. Při tomto procesu se rozhoduje, který uzel má větší prioritu a právo poslat rámec. Datový rámec CAN sběrnice se skládá z SOF (Start of frame) určující začátek zprávy a identifikátoru, který v sobě nese prioritu a poté určuje obsah zprávy. Dalšími částmi jsou RTR (Remote Transmission Request) definující o jakou zprávu se jedná, dominantní či recesivní, dále rezervovaných bitů R1 a R0, datové délky nesoucí určitý počet datových bytu a datových bajtů obsahující data výměny v přenosu. CRC slouží ke kontrole součtu bitů, ACD (Acknowledge delimiter) má funkci oddělovače, ACK (Acknowledge slot) slouží jako potvrzovací bod. V neposlední řadě se zde nachází koncové části, jako jsou konec rámce, Int. (Intermission) sloužící jako mezera mezi posílanými zprávami, SRS (Substitute Remote Request), v kterém je umístěna arbitrážová část a IDE (Identifier Extended), díky

kterému má přednost standartní rámec. V arbitrážovém poli se rozhoduje mezi dvěma typy datových rámců. Jimi jsou BOSCH CAN 2.0A a BOSCH CAN 2.0B. Rozdíl mezi nimi je v délce pole identifikátoru, kde u prvního typu 2.0A je dlouhý 11bitů a u druhého 29 bitů. [30]

Obrázek 17: Datový rámec sběrnice CAN

Volná sběrnice	S O F	Identifikátor	R T R	R 0	Datová délka	Datové bajty	CRC	E R C K	A C K	Konec rámce	I N T
Datová délka:	1	11	1	1 1	4	0 až 64	15	1 1 1		7	3
	Přístup na sběrnici		Řídicí informace		Datová oblast		Kontrola redundance			Potvrzení	

Zdroj: Elektronika a elektrotechnika motorových vozidel: seřizování, diagnostika závad a chybové kódy OBD [30]

4.6.3 FLEXRAY

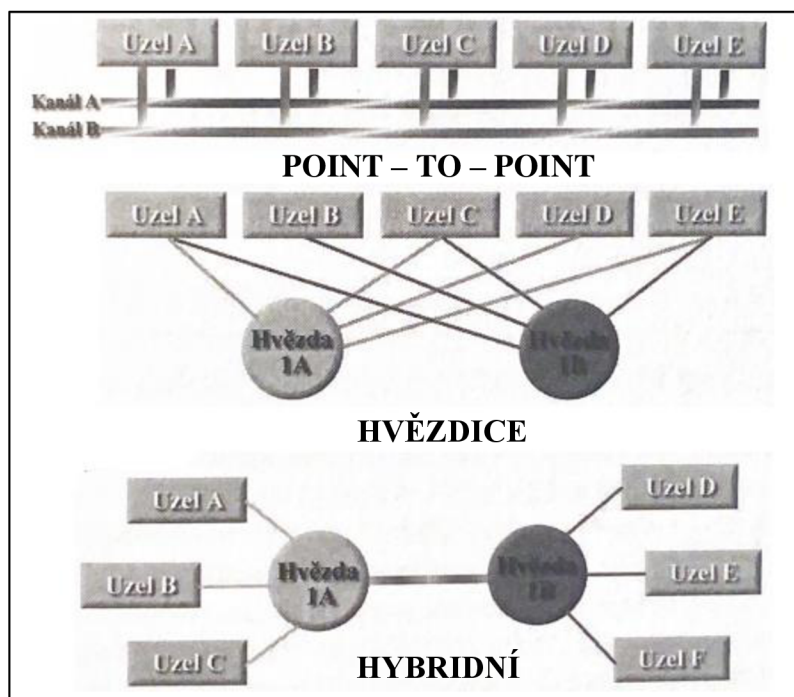
FlexRay je deterministická sběrnice, která byla navržena pro několikrát vyšší rychlosti přenosu dat než sběrnice CAN či LIN a také pro vyšší spolehlivost. FlexRay sběrnice kombinuje statický a dynamický přístup v rámci svého komunikačního cyklu a také umožňuje kombinaci flexibility a determinismu. Pojem deterministická sběrnice znamená, že doba přenosu dat mezi uzly v síti je předvídatelná a garantovaná. Tato funkce je velmi důležitá pro kritické aplikace. Během tohoto statického segmentu jsou časové sloty pevně přiděleny specifickým uzlům na sběrnici pro přenos dat. U statického přístupu má každý časový slot předem stanovený účel a je věnovaný určitému uzlu nebo skupině uzlů. Pro každý uzel je ve statickém segmentu přiřazen určitý časový slot, což zajišťuje, že určité zprávy budou odeslány ve fixně stanoveném časovém okně. Dynamický přístup umožňuje uzlům přenášet data dynamicky mimo statický segment. To znamená, že uzly mohou vytvářet a přenášet zprávy podle aktuálních potřeb sítě. Dynamický přístup je užitečný pro situace, kdy je potřeba přizpůsobit komunikaci novým podmínkám nebo pro transport zpráv, které nejsou pevně naplánovány v statickém segmentu. U systému FlexRay probíhá synchronizace pro všechny jednotky propojené FlexRay sběrnici globálně. Adresování jednotlivých uzlů komunikace je provedeno dvěma identifikátory, kde v jednom oběhu komunikace je schopna adresovat až 2047 uzlů.[30]

4.6.3.1 Rychlost přenosu dat a topologie sběrnice

Topologie sběrnice Flexray má více možností zapojení, ale je omezena některými podmínkami. Prvním kritériem je doba zpoždění přenosu, která nesmí přesáhnout 2,4 mikrosekundy. Tím druhým kritériem je, že mohou být spojeny maximálně tři hvězdy. Typ FlexRay používá dva typy vodičů, jednokanálový či dvoukanálový. Zároveň je závislá na počtu kanálů a využívá hvězdicové zapojení nebo BUS zapojení, což je obdobné jako zapojení CAN – Bus a hybridní, což je spojení těchto dvou možností.

Největší vzdálenost může činit maximálně 24 metrů. Existují dva typy FlexRay sítě podle použité rychlosti. Prvním typem je Low Speed (LS), což využívá maximální rychlosti 2.5 Mbit/s. Tím druhým je High Speed (HS), v které se přenáší data rychlostí 5 Mbit/s nebo 10 Mbit/s při maximální přípustné délce. [30]

Obrázek 18: Možnosti zapojení FlexRay sběrnice



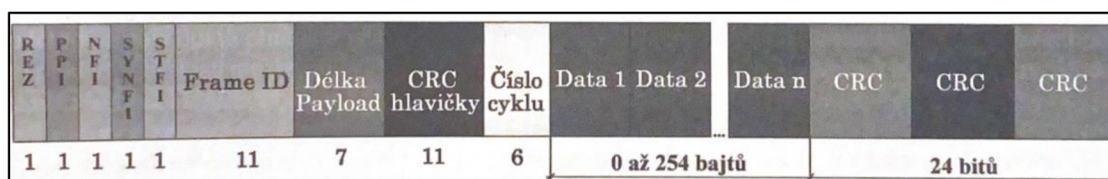
Zdroj: Elektronika a elektrotechnika motorových vozidel: seřizování, diagnostika závad a chybové kódy OBD [30]

4.6.3.2 Datový rámeček sběrnice FlexRay

Rámeček sběrnice FlexRay se skládá ze tří hlavních úseků a dalších menších podúseků. Hlavními úseky jsou hlavička, payload segmentu a trailer segmentu. Podstatou funkce payload segmentu je určování, zda se jedná o přístup statický (Network Management Vector) anebo dynamický (Null frame Indicator). Dále se v datovém rámci vyskytují podúseky, jako

jsou SYNFI, STFI, Frame ID, Payload lenght a CRC. SYNFI (Sync Frame Indicator) je segment, který určuje, zda se jedná o rámeček synchronizační. Dalším prvkem je STFI (StartUp Frame Indicator) sloužící jako indikátor startovacího rámce. Po STFI se naskytá prvek pro adresování Frame ID, payload lenght pro určování délky payload segmentu, CRC hlavičky pro kontrolní součet dat. V datovém rámci je segment s číslem cyklu, určující číslo cyklu vysílače, a samotná data, kterých může být tolik, kolik je uzlů. Díky těmto prvkům se pak přenáší požadovaná data. [30]

Obrázek 19: Datový rámeček FlexRay sběrnice



Zdroj: Elektronika a elektrotechnika motorových vozidel: seřizování, diagnostika závad a chybové kódy OBD [30]

4.6.4 SENT

SENT protokol (Single Edge Nibble Transmission) je sériový asynchronní komunikační protokol, který se používá primárně pro přenos analogových signálů. Tento typ sítě používá signál PWM pro přenos analogového signálu do řídicí jednotky. Jedná se v podstatě o jednoduchou komunikační síť s nízkou reakční dobou. Tento způsob komunikace je definován jako jednocestný výstupní signál ze snímačů. Důvodem jednosměrného přenosu dat je eliminace složitějších mechanismů pro řízení toku dat, zpětnou vazbu a další funkce, což zjednodušuje design a implementaci. Pokud by byla potřeba dvousměrný přenos, je potřeba zrealizovat komunikační obvod navíc. Proto často SENT protokol pracuje v kooperaci s dalšími sériovými sběrnici, jako jsou LIN, nebo CAN-Bus. Pomocí SENT protokolu lze přenášet data dvěma možnostmi rychlosti přenosu, a to „Fast channel“ (rychlý kanál) a „Slow channel“ (pomalý kanál). Rychlý kanál byl navržen pro přenos rychle se měnících hodnot, což může zahrnovat dynamická nebo kritická data, která vyžadují vysokou frekvenci aktualizací. Pomalý kanál je koncipován pro přenos konstantních nebo méně často se měnících hodnot. kanál operuje s nižší rychlostí přenosu, což jej činí vhodným pro efektivní přenos dat s nižší frekvencí aktualizací. Je využíván pro přenos teplotních údajů nebo jiných stabilních měření. Pro přenos dat pomocí protokolu SENT je jednotka času ve formě „tick“ a přenáší se pomocí „nibble“ prvků, což jsou jednotky 4 bitů. V kontextu nibblu je začáteční čas nastaven na logickou 0 s pevnou šířkou trvání 5 ticků nebo více. Tato časová úsečka je následována logickou 1, jejíž trvání je

proměnné. Celková doba trvání nibblu je navržena tak, aby zakódovala 4 bity dat v naměřeném počtu jednotek ticků. [31] [32]

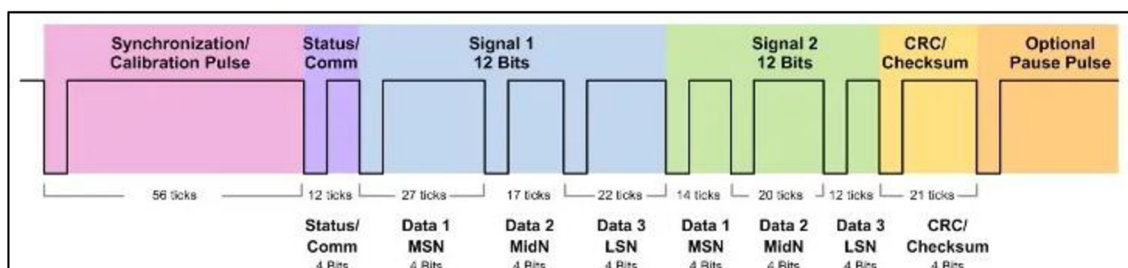
4.6.4.1 Topologie a rychlost sítě

SENT protokol se vyznačuje proměnným rychlostním přenosem ve velkém spektru. Rychlost se mění v závislosti na přenášených datech, protože jsou přenášeny nibbly a ty mají určitou délku trvání. Trvání jednoho nibblu je 12 až 27 ticků, kde tick má periodický rozsah 3 až 90 mikrosekund. Jeden datový rámeček trvá 154 až 270 ticků. Topologie sítě SENT nevyžaduje komplexní síťovou strukturu. Nejčastěji se používá point-to-point, což značí jednoduché vedení ze snímače do řídicí jednotky. [31] [32]

4.6.4.2 Datový rámeček SENT protokolu

Datový rámeček mezi rychlým a pomalým kanálem je odlišný. Datový rámeček rychlého kanálu se využívá pro přenos měřených dat ze senzoru a skládá se ze synchronizačního nebo také kalibračního pulzu, statusu a komunikace (S&C), datových nibblů, CRC kontrolního součtu a volitelného pauzového pulzu. Synchronizační/kalibrační pulz zapříčiní určitou synchronizaci taktu mezi vysílačem a přijímačem. Celková délka této části je 56 ticků. Část S&C je v podstatě nibble, v kterém jsou rozděleny 4 bity na pomalý kanál a signalizace. V datových „nibblech“ se vyskytují samotná data, ale také signalizace. CRC část slouží pro kontrolu, kdy probíhá přepočítání a následnou detekci chyb. U volitelného pauzového pulzu je možnost přidání pauzy, pokud chceme docílit pevné dobu začátku vysílaných zpráv z vysílače. Pomalý kanál se využívá pro přenos některých doplňkových informací. Tento rámeček je obsažen v části S&C segmentu datového rámečku rychlého kanálu, kde z dvojice bitu použitých na pomalý kanál je složena zpráva, která má délku 16 až 18 bitů. [31] [32]

Obrázek 20: Datový rámeček SENT protokolu



Zdroj: www.electronicproducts.com/ [31]

5 Analýza a ověření charakteristik vybraných snímačů fyzikálních veličin

Hlavním cílem praktické části bakalářské práce bylo celkové zjištění charakteristik vybraných snímačů a jejich chování při změně okolních vlivů. Dalším společným cílem bylo zjistit výstupní hodnoty použitých snímačů v závislosti na vstupních hodnotách z prostředí snímače. Výsledné zjištěné charakteristiky snímačů by mohly sloužit k porovnání s chováním obdobných snímačů použitých v ostatních odvětvích průmyslu. Zároveň by tato praktická část mohla být využita jako pomůcka pro určení charakteristik snímačů v jiných průmyslových odvětvích a následné stanovení sensorových charakteristik jako například porovnání charakteristiky teplotního snímače v automotive průmyslu s teplotním senzorem v termostatu pokojového prostředí, či v leteckém průmyslu.

5.1 Přehled výběru použitých snímačů a jejich výstupní signály

Pro analýzu sensorových charakteristik byly použity vybrané snímače teploty NTC chladící kapaliny motoru. Prvním měřeným snímačem byl snímač s číslem 03F9195018 použitý v automobilech Volkswagen (VW) a druhý snímač s číslem 13627823993 ve vozidlech Bayerische Motoren Werke (BMW). Tyto snímače byly voleny pro porovnání charakteristik snímačů od různých výrobců. Tyto snímače disponují analogovým výstupním signálem.

Dalšími vybranými snímači byly snímač tlaku paliva od VW s číslem dílu 059906054K a snímač tlaku oleje s číslem 04C906060C od téhož výrobce. Zde bylo uvažováno jen s porovnáním snímaného tlaku, kde se oba snímače pohybují v jiném rozsahu hodnot. U měřených snímačů tlaku byl již použit komunikační digitální signál SENT.

Posledními analyzovanými snímači byly snímače hladiny oleje se zabudovaným snímačem teploty NTC. U tohoto typu snímače byly opět použity pro měření dva typy snímačů odlišných výrobců. Prvním byl snímač hladiny oleje od značky VW s číslem dílu 06E907660C a druhým byl od výrobce BMW s číslem 12618638758. Důvodem výběru těchto dvou hladinových snímačů byla jejich odlišnost v použití komunikačního protokolu. Komunikace snímačů hladiny oleje jsou odlišné. Zatímco vybraný snímač od výrobce VW číslem 06E907660C používá komunikační protokol, který není dle standartu, u snímače číslo 12618638758 je použit pro formu komunikace protokol LIN.

5.2 Použité přístroje pro vlastní měření

Pro realizaci sbírání dat z měření snímačů teplot byla použita horkovzdušná trouba typu UNP 500 od výrobce MEMMERT, snímač VW číslo 03F9195018, snímač BMW číslo 13627823993

a multimetr ESCORT 2000 pro vyčítání výstupních hodnot. U měření tlaku byl použit:

- kompresor,
- snímač tlaku paliva VW číslo 059906054K,
- snímač tlaku oleje VW číslo 04C906060C,
- dále referenční snímač tlaku, který byl schopný měřit do 1 MPa,
- napájecí zdroj,
- osciloskop Tektronix MSO 2024,
- destička s tištěnými spoji a mikrokontrolérem ARDUINO MEGA
- a počítač s programem Arduino.

U měření dat snímačů teploty a hladiny oleje byla použita:

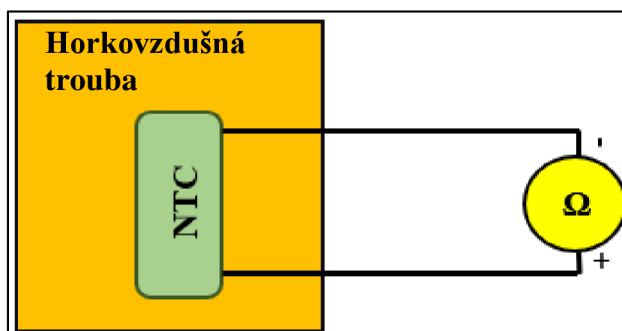
- snímač teploty a hladiny oleje VW s číslem 06E907660C,
- snímač teploty a hladiny oleje BMW s číslem 12618638758,
- výše zmíněná trouba,
- ARDUINO MEGA,
- rezistor o odporu 10 k Ω ,
- již zmíněný Osciloskop
- a napájecí zdroj.

5.3 Průběh praktické části a vlastní měření

5.3.1 Snímač teploty NTC

Tento typ snímače je osazen dvěma piny, což jsou piny pro napájení + a -. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, u tohoto typu snímače se při zvyšující teplotě snižuje elektrický odpor snímače. Principem měření snímače tohoto typu je propojení těchto pinů se vstupy ohmmetru.

Obrázek 21: Schéma zapojení měření snímače teploty



Zdroj: vlastní zpracování

5.3.1.1 Metodika měření

Začátkem měření je samotné nastavení multimetru na měření ohmů se správným rozsahem měření. Dále bylo potřeba přizpůsobit troubu pro měření teplotních snímačů, tudíž nastavit rošt tak, aby snímače byly v přijatelné poloze měření. To znamená, aby se hlavní část snímače snímající teplotu nedotýkala kovového roštu a aby snímač byl co nejbližší k snímači teploty v troubě. Důvodem je co nejpřesnější snímaná teplota, která se v troubě nachází. Aretace polohy snímače v peci je důležitá kvůli rozdílu teplotní vodivosti kovu a teplotní vodivosti vzduchu. Následně se změřil odpor při vypnuté troubě. To znamená při teplotě, která se nacházela v místnosti. Počáteční hodnota při teplotě 24,4 °C činila hodnotu 2,14 kΩ u snímače značky VW a u snímače výroby BMW byla hodnota 2,34 kΩ.

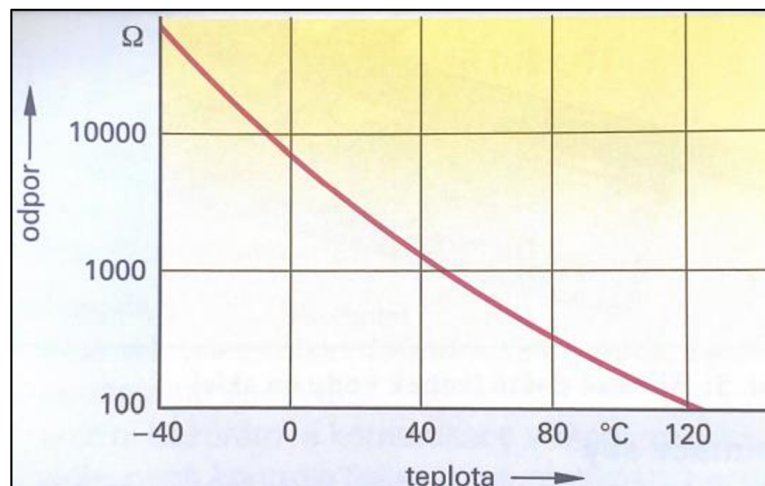
Poté byla spuštěna horkovzdušná trouba a nastavila se požadovaná hodnota teploty, na kterou se měla trouba zahřát. Po každém zahřátí se vyčetl z multimetru odpor obou snímačů a údaje se zaznamenali. Nutné podotknout, že po dosažení požadované teploty vznikl uvnitř trouby teplotní výkyv, a tudíž bylo nutné počkat na ustálení teploty pro přesnější výstupní hodnoty. Tento proces se opakoval až do požadované teploty 120 °C. Od teploty 100 °C již byl teplotní výkyv minimální. Po ukončení měření se deaktivovala trouba a byla zpracována charakteristika obou snímačů a vyhodnocení.

5.3.1.2 Naměřené charakteristiky obou snímačů teplot

Pomocí programu excel byla z výstupních hodnot měření zpracována charakteristika obou snímačů, kde výsledná charakteristika vyšla jako progresivní křivka. Porovnáním naměřených hodnot s teoretickým průběhem charakteristiky nalezeným v odborné literatuře, kde je teoretická charakteristika NTC termistoru vykreslena jako progresivní křivka lze

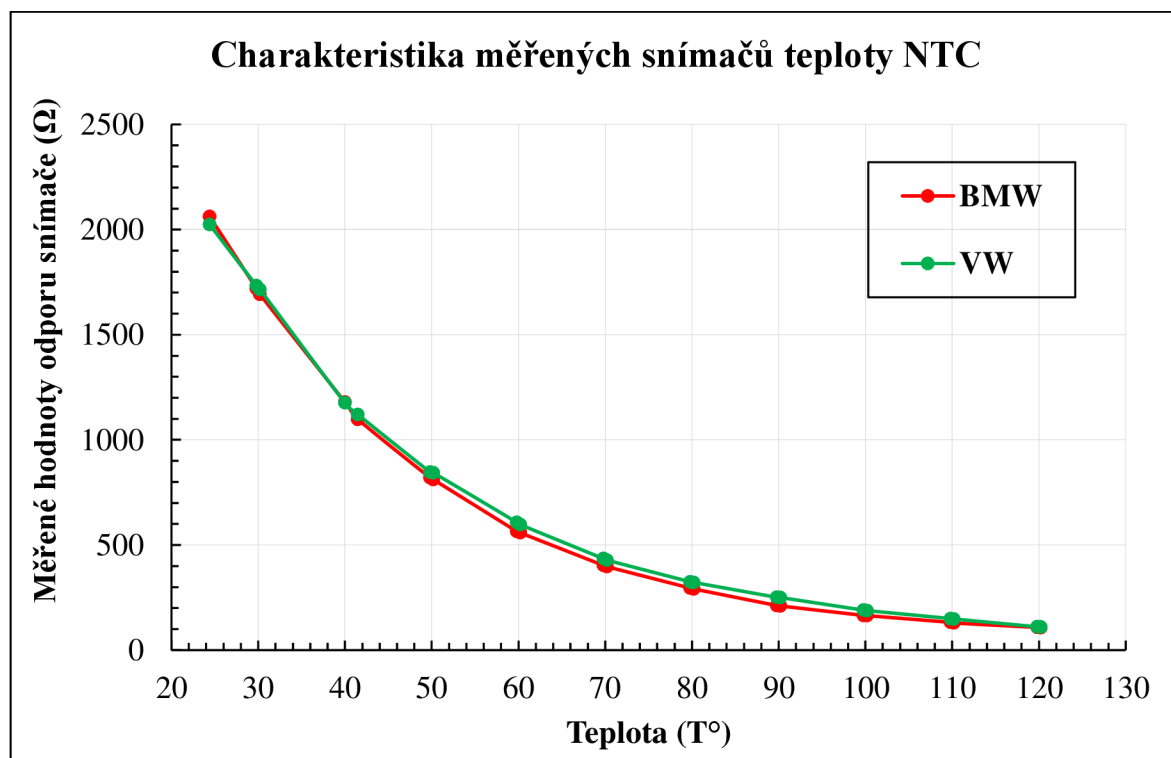
usoudit, že signál ze snímačů vykazuje velmi podobně progresivně klesající průběh charakteristiky. [4].

Obrázek 22: Teoretický průběh charakteristiky snímače teploty NTC



Zdroj: Příručka pro automechanika [4]

Obrázek 23: Naměřené charakteristiky obou teplotních snímačů NTC

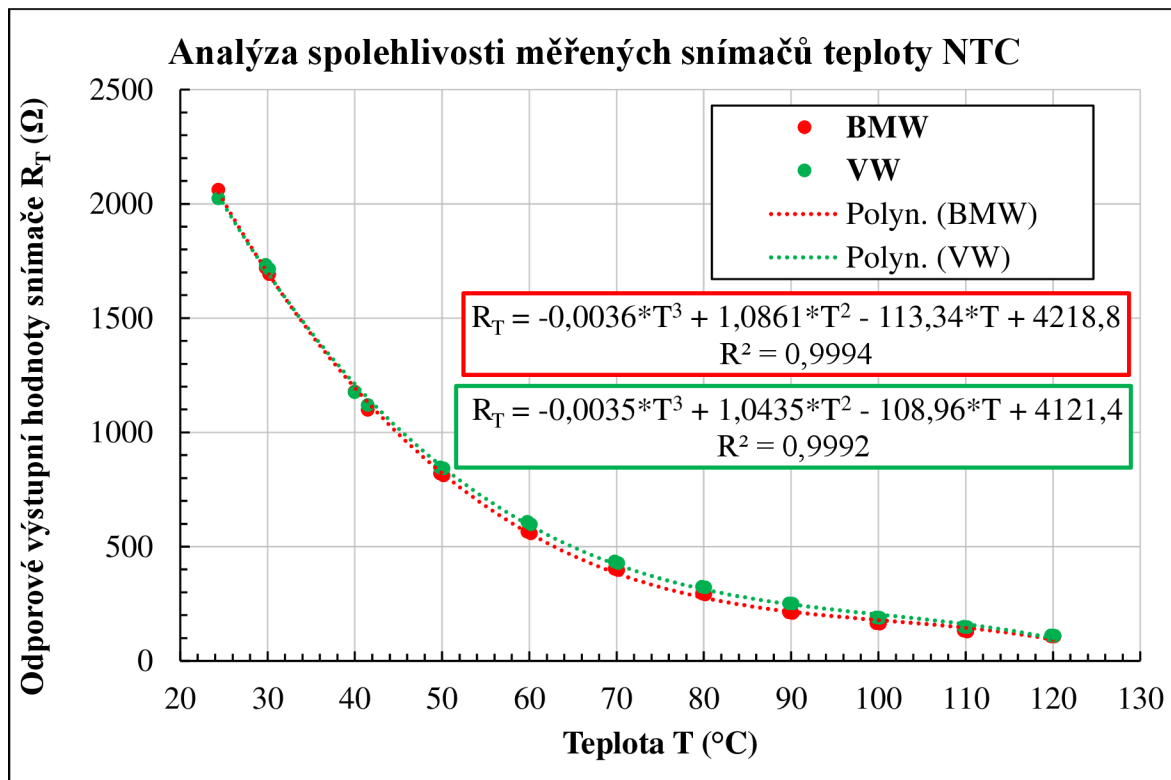


Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených dat ze snímačů teploty

Po zjištění charakteristiky snímače teploty byly hodnoty proloženy regresním polynomem 3. řádu. Regresní polynom byl zvolen z důvodu vyšší přesnosti skrze naměřené body. Z regresního polynomu byly poté získány rovnice charakteristiky snímačů teploty a míry spolehlivosti R^2 . Výsledky polynomické regrese snímačů teploty lze vidět na obrázku

24, kde jsou barevně přiřazené výsledné rovnice pro oba snímače teploty a jejich míry spolehlivosti.

Obrázek 24: Výsledné polynomicke regrese snímačů teploty



Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených dat ze snímačů teploty zpracování charakteristik měřených snímačů

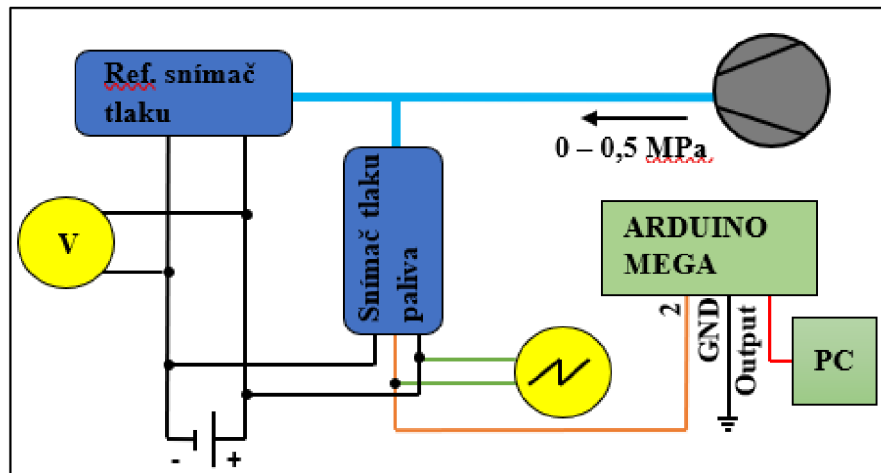
Obě regresní křivky mají vysoké míry spolehlivosti a takřka stejné koeficienty regresní funkce a tím pádem lze usoudit, že měření bylo přesné. Snímač BMW vykazoval vyšší konvexnost křivky, díky vyšším hodnotám koeficientů rovnice křivky.

5.3.2 Snímač tlaku paliva

Pro měření tlaku paliva byl použit snímač tlaku paliva v palivovém railu od značky VW. Součástí snímače tlaku paliva jsou tři piny. Stejně jako u snímače teploty slouží dva piny pro napájení a třetí pin pro komunikaci. Uvnitř snímače se nachází A/D převodník, který právě změny tlaku převádí z analogových hodnot na digitální. Následně je tento digitální přenos upraven podle určitého typu komunikačního protokolu. Pro způsob komunikace snímače tlaku paliva a řídicí jednotky se používá sběrnice SENT, díky které je možnost sběru výstupních dat v závislosti na měnících se vstupních podmínkách čili tlaku. Místo řídicí jednotky pro čtení komunikačního protokolu je použito zařízení ARDUINO

MEGA, které v kooperaci s vytvořeným programem v aplikaci Arduino je schopno číst výstupní hodnoty ze signálu komunikačního protokolu SENT.

Obrázek 25: Schéma zapojení přístrojů pro měření snímače tlaku paliva



Zdroj: Vlastní zpracování na základě zapojení komponent pro realizaci měření

5.3.2.1 Metodika měření

V samotném počátku měření bylo důležité správně zkoordinovat zapojení, použít vhodný referenční snímač tlaku a korektně zapojit elektrické obvody pro měření obou snímačů současně. Pro měření tlaku byl použit stlačený vzduch. Po zapojení pneumatického obvodu bylo důležité změřit správnost měření referenčního snímače. Podle referenčního snímače byla později analyzována charakteristika měřeného snímače. Tento snímač byl osazen dvěma výstupy + a -, které byly propojeny s vhodnými vstupy multimetru. V závislosti na měnícím se tlaku vyvolaném kompresorem se měnil napěťový výstup snímače. Při atmosférickém tlaku bylo na snímači naměřeno 0,998 V, tudíž cca 1 V na 100 kPa. Po ověření správnosti funkce referenčního snímače byl zapojen měřený snímač tlaku, do kterého bylo přivedeno napájení a komunikační pin byl propojen s příslušným vstupem zařízení ARDUINO MEGA. Čtecí zařízení bylo propojeno s počítačem, kde byl aplikován již vytvořený program pro čtení hodnot protokolu SENT. Tento program byl poskytnut panem doc. Pechoutem na Katedře vozidel a pozemní dopravy. V aplikaci Arduino se přes okno „sériový monitor“ vpisovaly určité hodnoty. Tyto hodnoty měli definovat sestupné hrany při měnící se vstupní hodnotě snímače. V programu bylo nutné definovat čtecí hodnoty protokolu na určitý pin zařízení ARDUINO MEGA do které tato komunikace bude proudit. Definující hodnoty komunikace SENT byly vepisovány v okně sériového monitoru s prodlevou v řádech milisekund. Pro kontrolu vyčítaných hodnot byl do obvodu pro

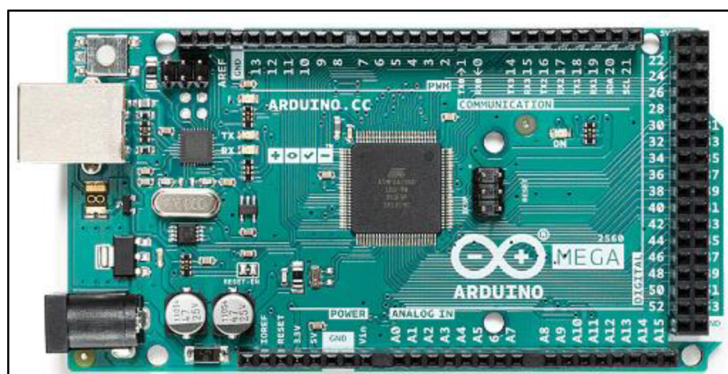
kontrolu připojen osciloskop, kde se pomocí kurzoru měřila časová délka mezi sestupnými hranami. Poté byl nastaven příslušný tlak, na který byly připojeny oba senzory. U referenčního snímače byly opět vyčteny napěťové hodnoty z multimetru a ze snímače tlaku byly hodnoty převzaty z okna sériového monitoru programu Arduino. Pro měření byl použit maximální tlak 0,5 MPa, který je zcela dostatečný pro rozsah tlaku paliva v palivové liště.

5.3.2.1.1 Princip čtecí funkce zařízení ARDUINO MEGA

Čtecí zařízení je osazeno mikrokontrolérem, který umožňuje čtení dat a jejich následné zpracování. Dokáže komunikovat na různých typech komunikačních protokolů. Díky těmto funkcím dokáže také ovládat akční členy. Dalšími komponentami jsou příslušné piny, kde část z nich slouží právě pro komunikaci, pro možnost čtení analogových signálu a také digitálních, zvolení napájecího napětí (3,3V nebo 5V), pin pro ukostření a resetující tlačítko. V podstatě schopnost vyčítat komunikační protokol spočívá ve funkci zvané „vektor přerušení“, který musí být povolen v napsaném programu pro čtecí funkci protokolu příkazem „*attachInterrupt()*“.

Existuje více druhů přerušení, reakce na sestupnou (FALLING) a vzestupnou hranu (HIGH), a také reakce na nabítí logické 0 (LOW) a když se změní hodnota logické hodnoty na daném pinu (CHANGE), tedy celkem čtyři druhy. V podstatě se jedná o dotaz mikrokontroléru a následné zapsání kódu reakce změny signálu v určitém čase. Optimální funkcí přerušení je zachytit přerušení příslušného impulsu v jedné časové smyčce a vypsání kódu v okně sériového monitoru. Vektor přerušení je možné u ARDUINO MEGA aplikovat až na šesti pinech. [36]

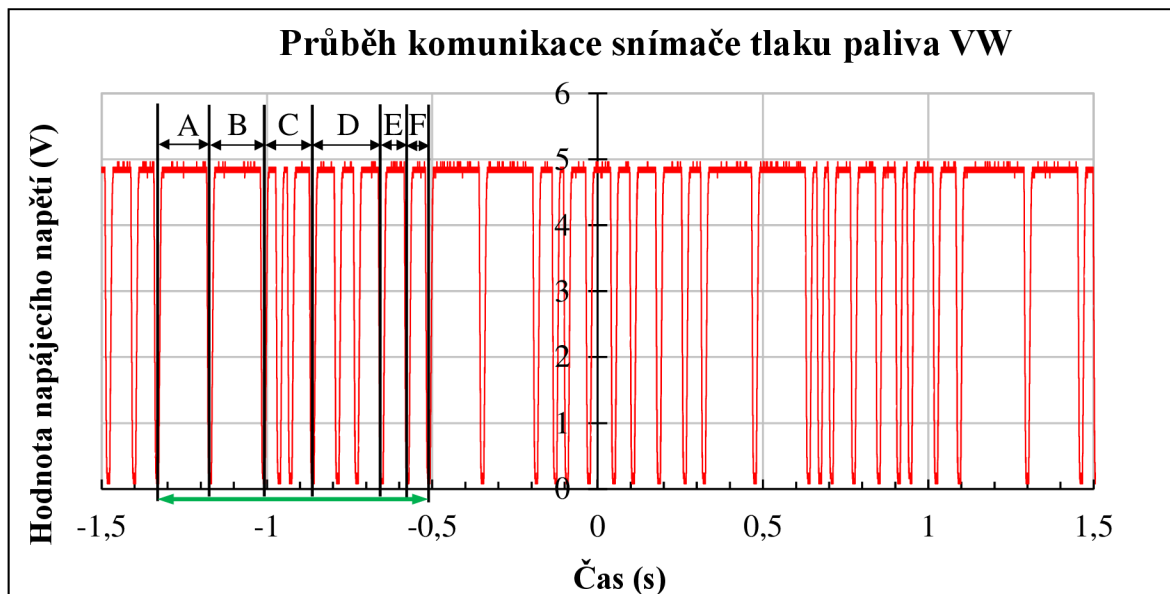
Obrázek 26: ARDUINO MEGA



Zdroj: www.arduino.cc [36]

5.3.2.2 Výstupní signál SENT protokolu a jeho popis

Obrázek 27: Průběh signálu SENT komunikace snímače tlaku paliva a jeho popis



Zdroj: vlastní zpracování na základě převzatých dat z osciloskopu při měření snímače tlaku paliva

Výše zobrazený průběh signálu náleží komunikačnímu protokolu snímače tlaku paliva. Pro lepší znázornění délky jednotlivých nibblů neboli jednotlivých částí datového rámce protokolu SENT, jsou tyto oblasti označeny písmeny A až F. Výše signálu je 5 V z důvodu použité hodnoty napájecího napětí snímače. Spodní osa je časový průběh signálu, kde je jasně ukázáno, jak dlouho trvá jeden datový rámec a jednotlivé nibbly v něm. Zelená kóta ve spodní části označuje datový rámec jedné zprávy. Oblast A označuje část synchronizační a informaci o snímači tlaku paliva. Interval B je interval zahájení přenosu hodnot a zároveň slouží jako kalibrační puls. Tento puls je definován jako 56-ti násobek délky prodlevy ticků (délka nibblu). Z toho vyplývá, že délka ostatních oblastí jsou reálně delší, ovšem díky kalibračnímu nibblu jsou zobrazovány v datovém rámci s podstatně menší délkou pulsu. V následujících dvou intervalech C a D jsou zaimplementovány data ze signálu 1 a 2. V našem případě se měnil pouze signál 1, který znázorňoval hodnotu tlaku paliva. Signál 2, neboli oblast D v našem případě nic neznázorňoval, jelikož se aktuálně nepoužíval. Oblastí E se rozumí kontrolní součet, jehož princip byl popsán výše v teoretické části práce. Poslední oblast slouží pro přestávku do příštího přenosu další datové zprávy.

5.3.2.3 Naměřená charakteristika snímače tlaku paliva

Z kódu zobrazující celý datový rámec byly pomocí funkcí v excelu převedeny výstupy na požadovanou hodnotu signálu snímače tlaku paliva. Z vícero hodnot vypsaných kódů byl vypočítán průměr těchto hodnot a určena směrodatná odchylka. Celková procentuální směrodatná odchylka vyčtených hodnot činila 0,12 %, což je ve výsledku velmi zanedbatelná odchylka. V následující tabulce lze vidět přehled naměřených hodnot.

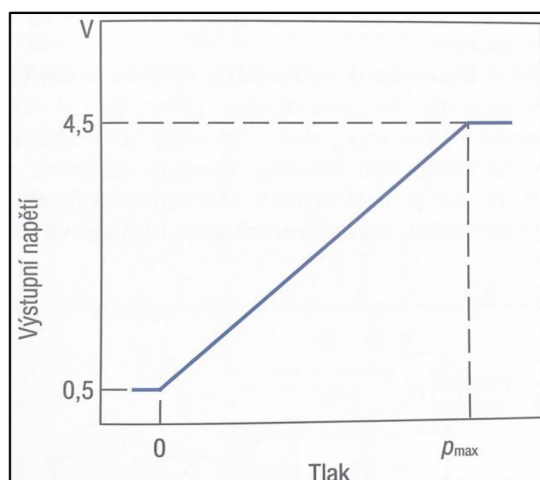
Tabulka 2: Naměřené hodnoty z měření snímače tlaku paliva

Tlak (Mpa)	Ref. snímač	Snímač tlaku paliva	Směrodatná odchylka	Směrodatná odchylka v %
0,0	0,998	190,875	0,608	0,319 %
0,1	1,688	448,252	0,543	0,121 %
0,2	2,708	827,342	0,523	0,063 %
0,3	3,612	1167,265	0,771	0,066 %
0,4	4,660	1555,039	0,715	0,046 %
0,5	5,705	1938,286	1,660	0,086 %
			průměr	0,117 %

Zdroj: Vlastní zpracování na základě vyčtených dat aplikace Arduino

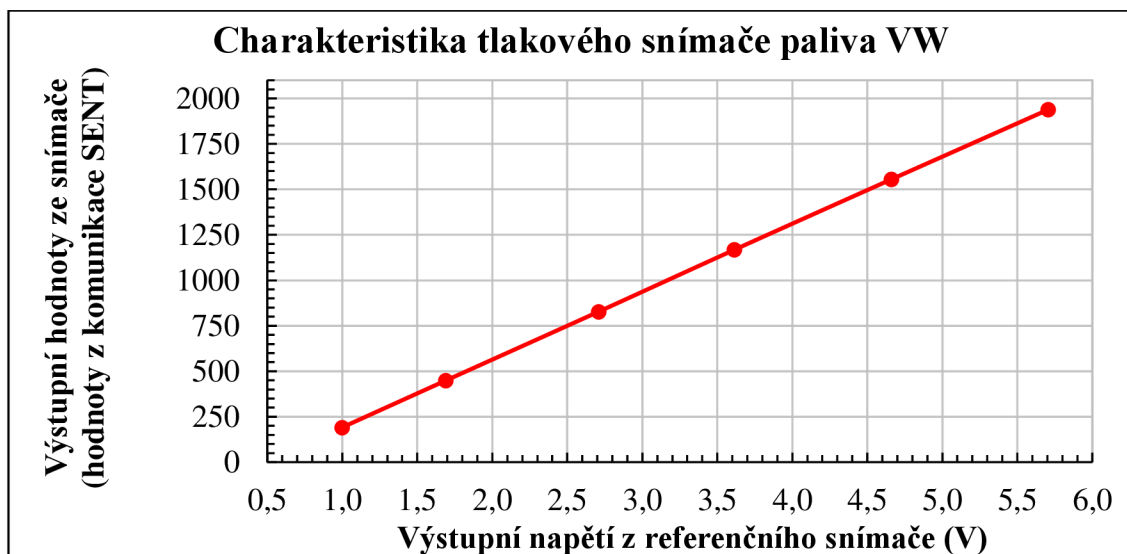
Podstatou tvorby charakteristiky snímače tlaku paliva je porovnání napěťových hodnot referenčního snímače tlaku a vypsaných zprůměrovaných hodnot z kódu při určité nastavené hodnotě pneumatického tlaku. Výsledkem správného průběhu charakteristiky snímače tlaku by měla být lineárně stoupající křivka při zvyšujícím se tlaku. [37] Teoretická charakteristika je zobrazena na obrázku 28. Výsledný průběh charakteristiky snímače tlaku pak lze vidět na obrázku 29.

Obrázek 28: Teoretická charakteristika snímače tlaku



Zdroj: Příručka pro řidiče a opraváře automobilů [37]

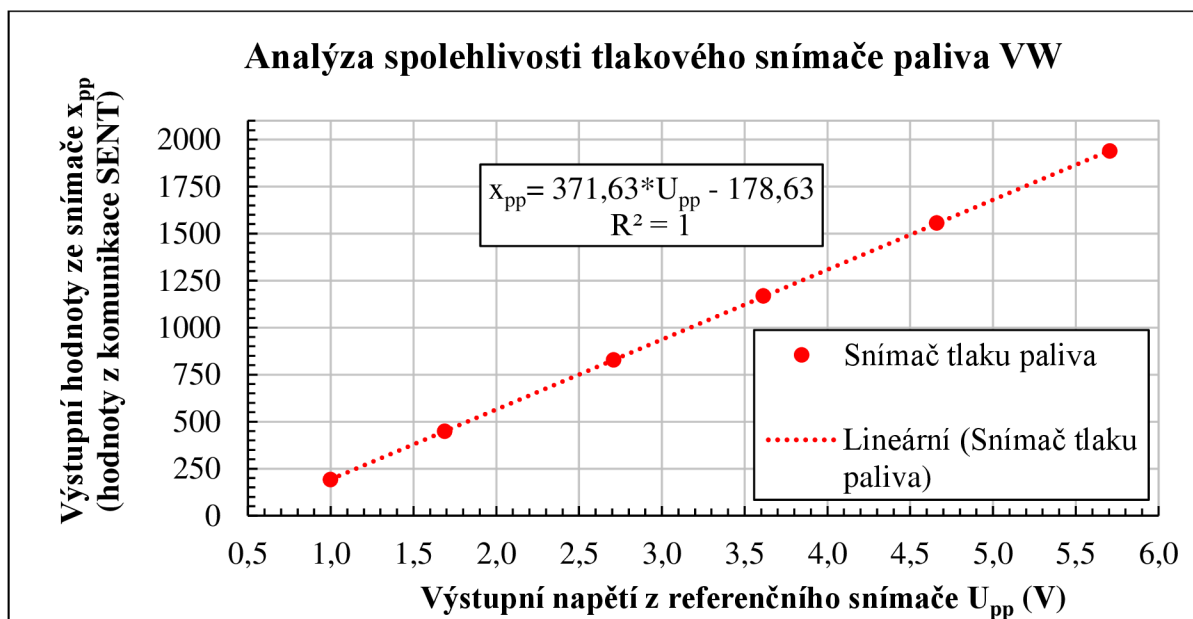
Obrázek 29: Výsledná charakteristika měřeného snímače tlaku paliva



Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených hodnot ze snímače tlaku paliva VW

Pro zjištění charakteristiky snímače tlaku byly hodnoty opět proloženy regresní přímkou. Důvodem volby regresní přímky byl teoretický předpoklad, že charakteristika by měla být lineárně závislá. Z vytvořené regresní přímky byla získána rovnice charakteristiky snímače tlaku a jeho míra spolehlivosti R^2 . Výsledky lineární regrese snímače tlaku lze vidět na obrázku 30, kde je výsledná rovnice charakteristiky snímače tlaku a jeho míra spolehlivosti.

Obrázek 30: Výsledná křivka míry spolehlivosti měření snímače tlaku paliva



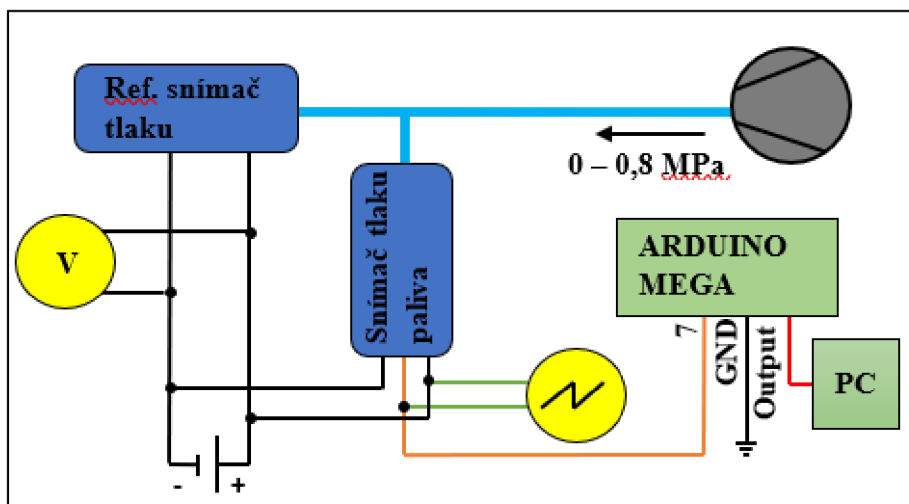
Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených dat ze snímače tlaku paliva a zpracování charakteristiky snímače tlaku paliva

Měření výsledné charakteristiky snímače tlaku paliva lze označit za velmi přesné, jelikož míra spolehlivosti měření vyšla rovno 1, což znamená stoprocentní spolehlivost.

5.3.3 Snímač tlaku oleje

Princip snímače tlaku oleje je stejný jako snímač tlaku paliva, ovšem je zde více diferencí. Snímač je taktéž konstrukčně stejný jako snímač tlaku paliva i s použitým komunikačním protokolem. Hlavním rozdílem je rozsah použitého tlaku, kdy tento snímač je schopen měřit tlak až do 0,8 MPa. Dalším rozdílem je odlišný průběh signálu SENT, který bude popsán níže. Schéma zapojení je obdobné jako u předchozího měřeného snímače.

Obrázek 31: Schéma zapojení přístrojů pro měření snímače tlaku oleje



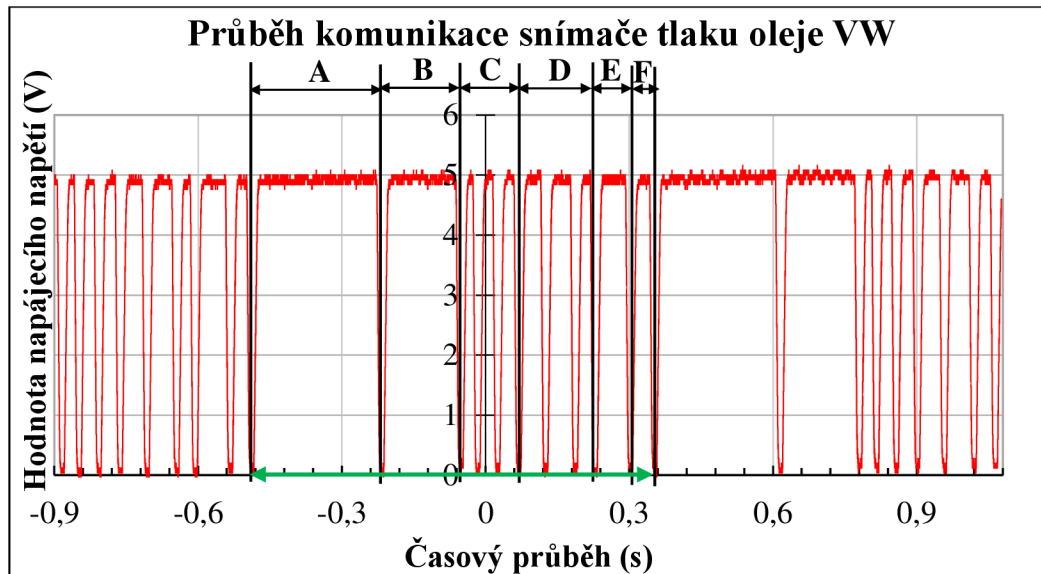
Zdroj: Vlastní zpracování na základě zapojení komponent pro realizaci měření

5.3.3.1 Metodika měření

Průběh měření koresponduje s průběhem měření snímače tlaku paliva. Jediným rozdílem u tohoto měření byl rozsah použitého pneumatického tlaku. Rozsah měřeného pneumatického tlaku byl od 0 do 0,8 MPa. Jako referenční snímač tlaku byl použit stejný jako u měření snímače tlaku paliva. Pro vyhodnocení signálu snímače tlaku oleje byl použit stejný program, jako u předchozího snímače.

5.3.3.2 Výstupní signál SENT protokolu a jeho popis

Obrázek 32: Průběh signálu SENT komunikace snímače tlaku oleje a jeho popis



Zdroj: Vlastní zpracování na základě převzatých dat z osciloskopu při měření snímače tlaku oleje VW

Průběh komunikace SENT u snímače tlaku oleje je obdobný jako u senzoru tlaku paliva. Na ose X se nachází časový průběh signálu v řádech milisekund a na ose Y napájecí napětí snímače. Zásadní rozdíl mezi průběhem signálu snímače tlaku oleje a snímačem tlaku paliva je časová prodleva určitých oblastí neboli nibblů. Stejně jako u předchozího průběhu jsou uspořádány intervaly A až F podle definujících oblastí datového rámce protokolu SENT a jejich pořadí. Stejně jako u snímače tlaku je oblast C signálem tlaku oleje a D není definovaná. Oproti synchronizační oblasti A a oblasti kalibraci dat B u průběhu komunikace snímače tlaku paliva jsou zde u oblastí A a B prodlevy mezi impulzy rozdílné. To je zapříčiněno definicí komunikačního protokolu a délek nibblů v konkrétním datovém rámci, kde se právě prodleva odezvy synchronizační oblast liší. Zelená kóta opět naznačuje délku datového rámce.

5.3.3.3 Naměřená charakteristika snímače tlaku oleje

Podstatou vytvoření charakteristiky snímače oleje je obdobně jako u snímače porovnání naměřených napěťových analogových výstupů z referenčního snímače s hodnotami převedené z kódu komunikačního protokolu měřeného snímače. Po výpočtu procentuální směrodatné odchylky bylo usouzeno, že směrodatné odchylky u prvního měření čítající 0,07 % a u druhého 0,09 % jsou minimální a nebudou brány v potaz.

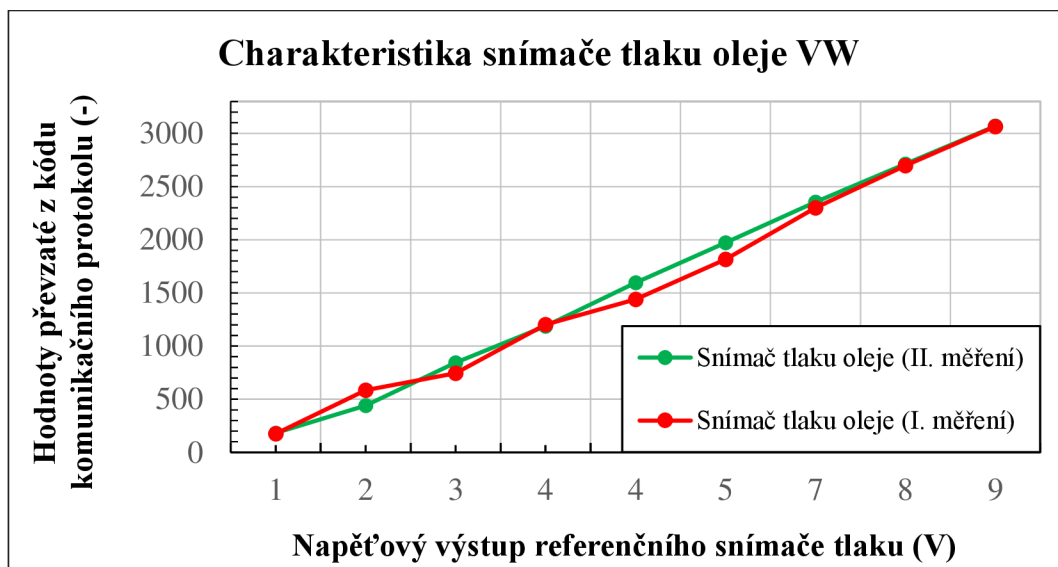
Tabulka 3: Naměřené hodnoty z měření snímače tlaku oleje

Měřený tlak (MPa)	Ref. snímač (I.měř.)	Snímač tlaku olej (I. měř.)	Směr. odchylka (I. měř.)	Směr. odchylka v % (I. měř.)	Ref. snímač (II.měř.)	Snímač tl. olej (II. měř.)	Směr. odchylka (II. měř.)	Směr. odchylka v % (II. měř.)	
0	0,966	175,43	0,554	0,32 %	0,982	183,10	0,300	0,16 %	
0,1	1,725	585,69	0,482	0,08 %	1,672	441,31	0,530	0,12 %	
0,2	2,541	743,68	0,498	0,07 %	2,757	842,73	1,327	0,16 %	
0,3	3,781	1201,92	0,279	0,02 %	3,683	1187,08	0,722	0,06 %	
0,4	4,437	1438,55	0,788	0,05 %	4,779	1594,78	1,384	0,09 %	
0,5	5,430	1816,61	0,544	0,03 %	5,796	1971,16	1,552	0,08 %	
0,6	6,731	2300,30	0,522	0,02 %	6,827	2353,60	1,345	0,06 %	
0,7	7,811	2695,90	0,725	0,03 %	7,812	2712,92	0,845	0,03 %	
0,8	8,648	3065,33	0,522	0,02 %	8,490	3068,87	2,118	0,07 %	
			Průměr	0,07 %				Průměr	0,09 %

Zdroj: Vlastní zpracování na základě vyčtených dat ze „sériového monitoru“ aplikace Arduino

Po prvotním vytvoření charakteristiky snímače byl zjištěn nepravidelný průběh lineární křivky. Měření z tohoto důvodu bylo realizováno znovu. Po vykreslení charakteristiky z druhého měření je již průběh charakteristiky snímače tlaku oleje lineárně stoupající křivkou. Důvodem neúspěšného prvního měření bylo zatížení chybou lidského faktoru. Domněnkou, proč chyba nastala, byla větší prodleva mezi vyčítáním analogových dat z multimetru ku převzetí kódových hodnot komunikačního protokolu z obrazu sériového monitoru aplikace Arduino. Dalším důvodem bylo zjištění netěsnosti pneumatické hadice u referenčního senzoru tlaku. Po výměně hadicové spony již nebyl detekován únik tlaku a mohlo se tak realizovat druhé měření. Na obrázku 36 lze pozorovat rozdíl mezi charakteristikami snímače tlaku oleje prvního a druhého měření.

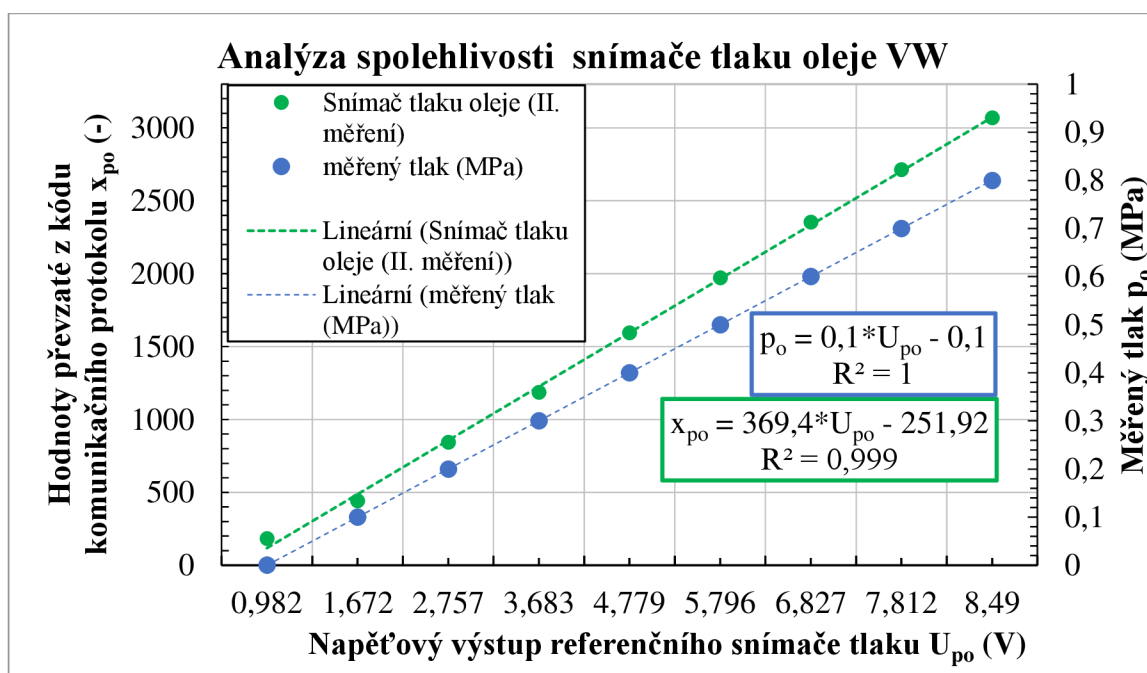
Obrázek 33: Výsledné charakteristiky snímače tlaku paliva ze dvou měření



Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených hodnot ze snímače tlaku oleje VW

Pro zjištění charakteristiky snímače tlaku oleje byly použity hodnoty z druhého měření, jelikož průběh charakteristiky měl lepší lineární průběh. Naměřené hodnoty byly opět proloženy regresivní křivkou. Výsledky lineární regrese snímače tlaku oleje druhého měření lze vidět na obrázku 34, kde je výsledná rovnice charakteristiky snímače tlaku oleje a jeho míra spolehlivosti.

Obrázek 34: Výsledná křivka míry spolehlivosti měření snímače tlaku oleje



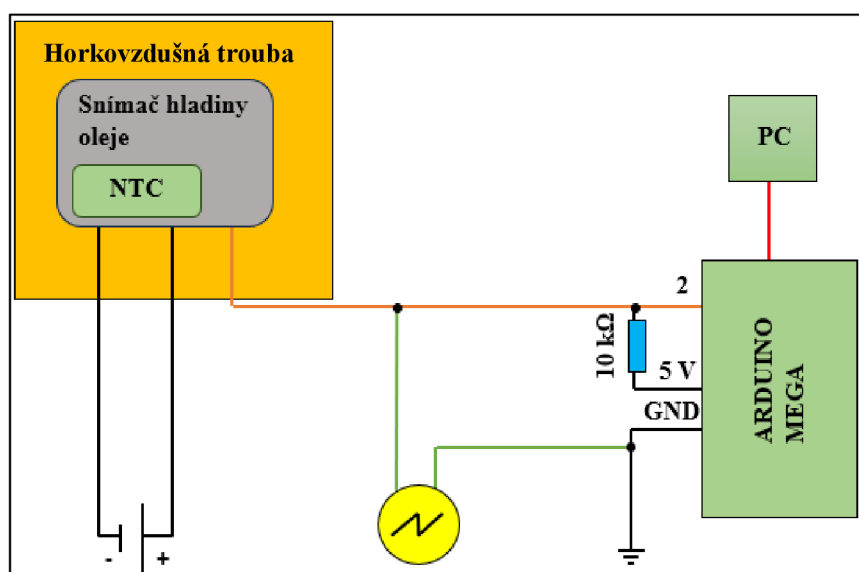
Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených dat ze snímače tlaku oleje a zpracování charakteristiky snímače tlaku oleje

Měření výsledné charakteristiky snímače tlaku oleje je možné označit za téměř přesné měření. V grafu analýzy spolehlivosti snímače tlaku oleje lze vidět také míra spolehlivosti měření referenčního snímače, kde se jednalo o 100 % spolehlivost. Proces měření s výslednou mírou spolehlivosti 99,9 % lze zcela jistě označit za úspěšný a data získaná ze snímače tak vyhodnotit jako věrohodné.

5.3.4 Snímač teploty a hladiny oleje

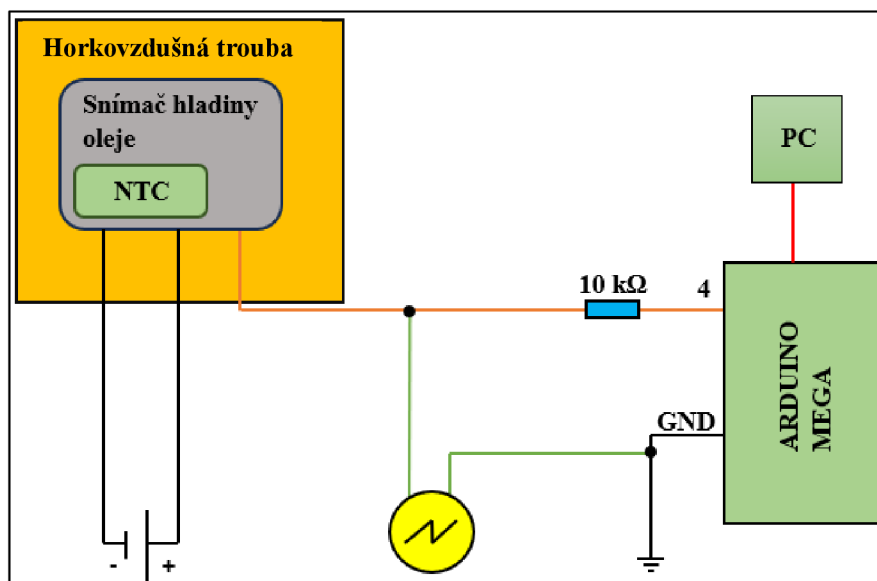
Toto zařízení je schopno měřit více signálů najednou. Měří hodnotu hladiny a pomocí NTC snímače uvnitř tělesa hladinoměru současně měří teplotu. Princip měření těchto fyzikálních veličin je popsán výše. Tento typ snímače pracuje s komunikačním protokolem, tudíž je uvnitř senzoru umístěn A/D převodník. Kdyby jeho výstup měl být pouze analogový, byl by osazen větším počtem pinů, kde by dané piny snímače byly určeny pro napájení, měření teploty a měření hladiny. Z této podstaty je výstupní signál snímače digitální a díky tomu je osazen pouze třemi piny. Dva piny slouží pro napájení a jeden slouží pro komunikační rozhraní. Vybrané snímače pro měření dat mají jeden zásadní rozdíl. Snímače se liší použitým komunikačním protokolem, kdy senzor od VW používá nestandardizovaný komunikační protokol, a senzor od BMW používá ke komunikaci sběrnici LIN. Níže je zobrazeno schéma zapojení obou senzorů pro realizaci měření a sběru dat ze senzorů.

Obrázek 35: Schéma zapojení pro měření snímače teploty NTC a hladiny oleje VW



Zdroj: Vlastní zpracování na základě zapojení komponent pro realizaci měření

Obrázek 36: Schéma zapojení pro měření snímače teploty NTC a hladiny oleje BMW



Zdroj: Vlastní zpracování na základě zapojení komponent pro realizaci měření

5.3.4.1 Metodika měření

U snímačů hladiny bylo měřeno snímání teploty. Pro realizaci snímání hladiny oleje nebyly k dispozici prostředky, kterým bychom měření uskutečnili. Prvním krokem před realizací měření bylo potřeba upravit vnitřek trouby pro umístění snímače hladiny a upravit program pro čtení signálu VW snímače hladiny v závislosti na změny teploty.

Po úspěšné úpravě programu poskytnutého panem doc. Pechoutem se provedlo zapojení dle schémat na obrázcích 35 a 36 výše a snímač se umístil do trouby. Čtení měřících se vstupních hodnot zajišťovala opět aplikace Arduino, v které byl program na čtení protokolu napsán. Pro kontrolu a zjištění, jaká oblast a pulz v nestandardizovaném protokolu se mění v závislosti na změně teploty, se do obvodu zapojil osciloskop. Tato kontrola byla důležitá, díky níž bylo zjištěno, jaký pulz se měnil v závislosti na měřené veličině. Měření snímačů se měřilo dvakrát. První měření probíhalo na snímači od značky VW a druhé na snímači od výrobce BMW. Pro oba snímače byl rozsah teplot stejný. Měřilo se od teploty 23,5 °C, při které trouba byla deaktivovaná a v podstatě tak šlo o teplotu v okolí trouby. Další vyčítání hodnot bylo při teplotě 30 °C. Měření dat a následný export se realizovalo po každých 10 °C až do teploty 130 °C.

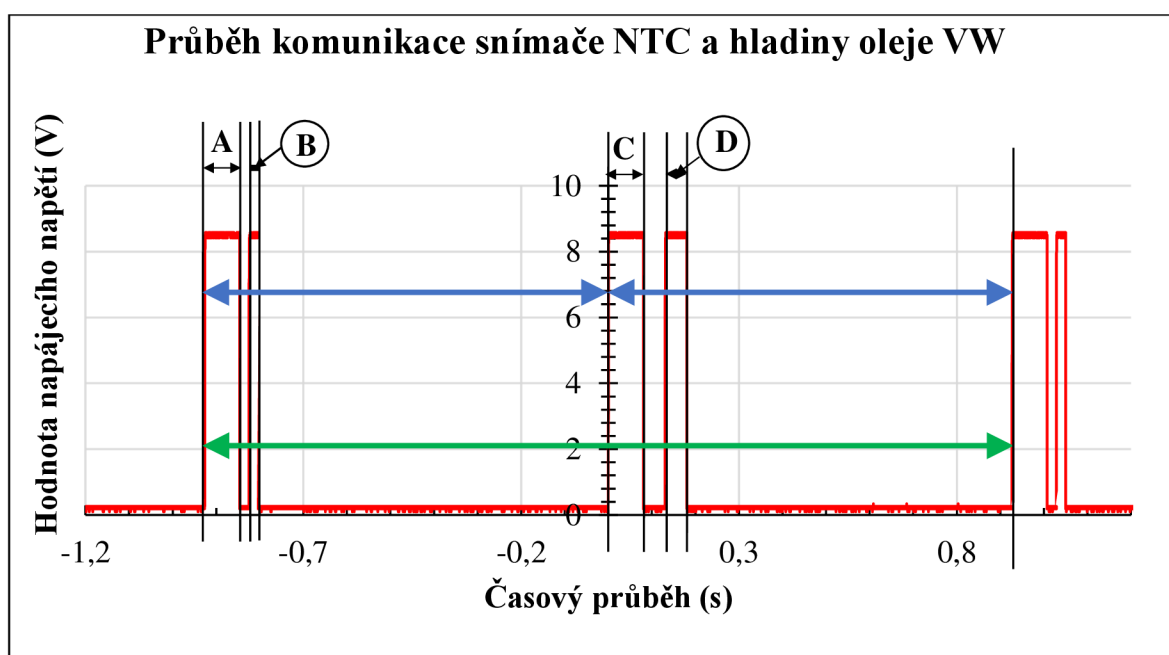
Nutno dodat že při každém vyčítání hodnot z komunikačního rozhraní byla kontrolována správnost měřeného signálu na osciloskopu s vyčítanými kódy v sériovém monitoru. Hodnoty vyčítaných kódů byly srovnatelné s měřenými délkami pulzů měřené manuálně na osciloskopu. Následně byla vypracována teplotní charakteristika snímače.

V druhém procesu měření se použil snímač hladiny oleje od značky BMW. Zde bylo zapotřebí upravit program pro čtení komunikace LIN, kde datový rámeček a průběh signálu vypadá odlišně. U komunikačního rozhraní LIN se na rozdíl od jiných protokolů hodnotila délka pulzu setrvání na logické 0.

Nejdříve se aplikovalo zkušební měření jen s osciloskopem. Cílem zkušebního pokusu měření bylo zjistit jaký pulz v datovém rámci se v závislosti na změně teploty mění. Po zjištění určité změny pulzu bylo možné program pro čtení LIN protokolu realizovat. Za pomoci doc. Pechouta, kterým mi byl poskytnut program pro čtení protokolu LIN, mohlo proběhnout úplné měření snímače od BMW. Proces měření se opakoval i se stejným rozvržením teplotních zastávek. Během měření byl opět v obvodu zapojen osciloskop pro ověřování správnosti měření.

5.3.4.2 Výstupní signál nestandardizovaného protokolu snímače hladiny VW a jeho popis

Obrázek 37: Průběh signálu nestandardizovaného protokolu snímače hladiny oleje VW a jeho popis



Zdroj: Vlastní zpracování na základě převzatých dat z osciloskopu při měření snímače teploty ve snímači hladiny oleje VW

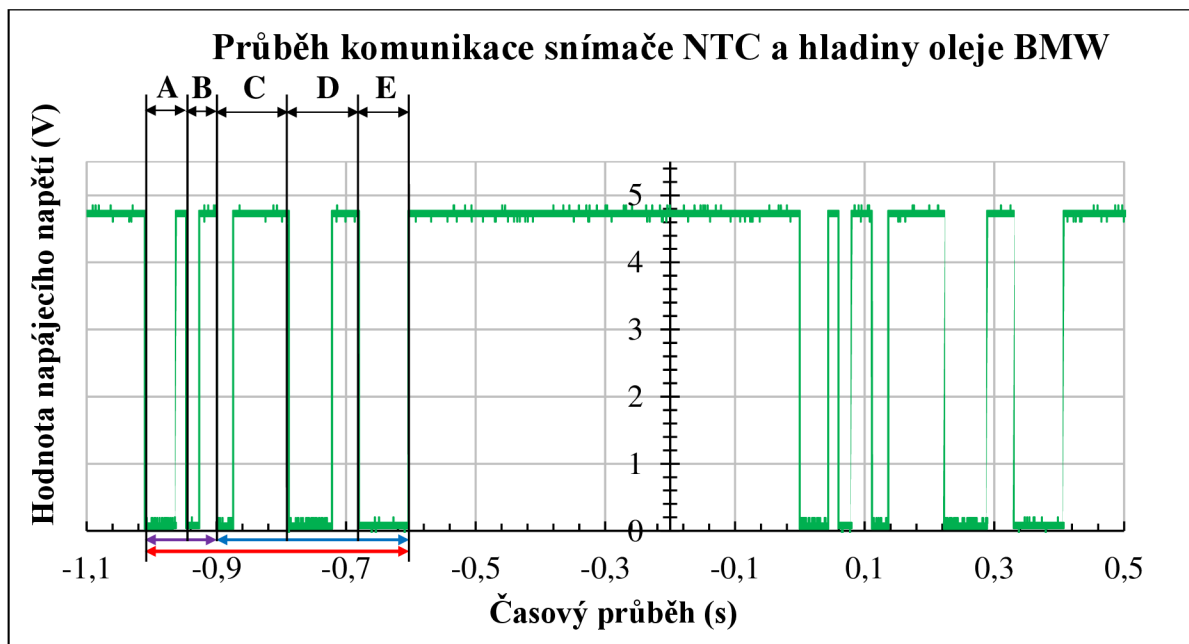
Na obrázku výše je možnost vidět průběh signálu snímače hladiny oleje VW. Tento typ sběrnice není dle standardu a přesně definovaný datový rámeček. Po analýze průběhu signálu a změn pulzů bylo zjištěno význam určitých pulzů a velikost datového rámečku. Podstatou všech změn v průběhu signálu jsou změny délek pulzů v závislosti na změně vstupních veličin. Při sledování průběhu signálu na osciloskopu během měření byl zjištěn

datový rámec pro jednu zprávu obsahující čtyři pulzy. Z těchto čtyř pulzů byla vyvolána změna délky pulsu u jednoho z nich. Tento pulz značil změnu teploty.

Oblast značená písmenem A je identifikátor zprávy pro následující pulz. Délka tohoto pulzu zůstává neměnná. Mezi každými pulzy jsou pauzy, které mají odlišnou délku. Oblast B značí měnící se pulz v závislosti na měnící se teplotě. Oblast C se rozumí také identifikátor pro pulz, který se nachází další v pořadí. Tento pulz se také nemění. Poslední oblastí v datovém rámci tohoto signálu, oblast D, která značí měnící se pulz závislý na změně hladiny oleje. Zelená kóta značí délku průběhu komunikace jedné zprávy neboli datového rámce. Modrá kóta značí neměnný interval mezi identifikátory.

5.3.4.3 Výstupní signál LIN protokolu a jeho popis

Obrázek 38: Průběh signálu LIN komunikace snímače NTC a hladiny oleje BMW a jeho popis



Zdroj: Vlastní zpracování na základě převzatých dat z osciloskopu při měření snímače teploty ve snímači hladiny oleje BMW

Na tomto obrázku je znázorněn komunikační protokol využívající snímač hladiny oleje značky BMW. Jedná se o protokol LIN, kde jednotlivé pulzy trvají v řádech desítek až stovek milisekund. V první části se zaměříme na jednotlivé oblasti jedné zprávy. Oblast A je tzv. synchronizační pauza. Oblast B značí identifikátor zprávy. Pulzy v oblasti C a D jsou cílová přenášená data. Oblast C, která se během měření neměnila značí změnu hladiny oleje. Oblast D se měnila v závislosti s narůstající teplotou. Poslední oblastí E datového rámce je pulz náležící CRC části, který slouží jako kontrolní součet posílaných dat. Dále jsou komunikačním protokolu znázorněny barevné kóty pod x-osou vyznačující určité

oblasti protokolu. Fialová kóta značí část datového rámce tzv. hlavička. Zde se nachází synchronizační pauza společně s identifikátorem. Modrá kóta značí oblast odezvy datového rámce. Poslední červená kóta značí velikost datového rámce přenášející jednu zprávu. Stejně jako u průběhu signálu SENT protokolu, maximální hodnota napětí je napájecí napětí snímače. Opět napájení snímače činí 5 V. Zde je možno vidět dominantní a recesivní stav sběrnice. Dominantní stav se rovná logické 0 a recesivní logické 1. Nutno podotknout, že u LIN protokolu se délka intervalu nemění. Mění se pouze délka pulsu dominantního stavu.

5.3.4.4 Naměřené charakteristiky obou snímačů hladiny oleje

Z počátku byly analyzovány data snímače hladiny oleje od výrobce VW, kde tyto data získaná z kódu programu pro čtení. Ze získaných kódových hodnot bylo dále zjištěno, které z nich jsou relevantní pro měření díky seřazení dle správné délky časové prodlevy pulzu. Pro vybrané kódy značící délku pulzu při změně teploty byl pro příslušnou teplotu proveden výpočet průměru těchto hodnot a zároveň byla vypočtena směrodatná odchylka. Tento proces byl aplikován pro všechny měřené teplotní body. V následující tabulce jsou zobrazeny průměrné hodnoty vybraných kódů a jejich směrodatné odchylky, podle kterých byla charakteristika vypracována.

Tabulka 4: Naměřené hodnoty z měření snímače teploty a hladiny oleje VW

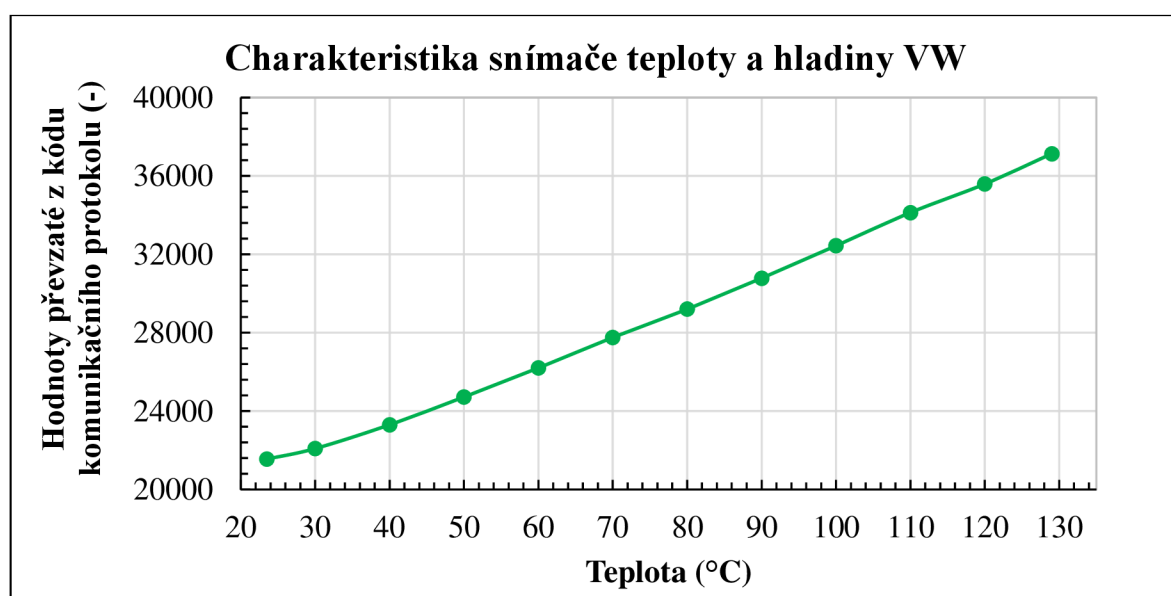
Teplota (°C)	Hodnoty z komunikačního protokolu snímače	Směrodatná odchylka délky pulzu	Odchylka v procentech
23,5	21548,92	5,470	0,025 %
30,0	22087,47	13,376	0,061 %
40,0	23300,00	27,980	0,120 %
50,0	24720,00	15,109	0,061 %
60,0	26204,67	19,720	0,075 %
70,0	27752,50	21,994	0,079 %
80,0	29203,43	13,679	0,047 %
90,0	30784,18	40,532	0,132 %
100,0	32438,67	51,493	0,159 %
110,0	34129,67	47,846	0,140 %
120,0	35588,00	93,766	0,263 %
129,0	37134,00	30,463	0,082 %
		Průměr	0,104 %

Zdroj: Vlastní zpracování na základě vyčtených dat aplikace Arduino

Výsledkem analýzy charakteristiky byl tvar připomínající lineární křivku. Hodnota výsledné směrodatné odchylky činila 0,104 %, což znamená minimální rozptýlení dat kolem

průměru a není proto uvažována. Po získání potřebných dat byla zkonstruována charakteristika snímače. Během měření snímače teploty ve snímači hladiny oleje bylo zjištěno, že charakteristikou výsledných signálů snímačů teploty NTC zabudovaných ve snímačích hladiny oleje by měla být ve tvaru lineární přímky. Tato změna je způsobena přepočtem analogových hodnot snímače na digitální hodnoty pro daný komunikační protokol. Důvodem tohoto přepočtu je použitý hardware pro vyčtení komunikačního protokolu. U tohoto procesu se změna délky pulzu mění lineárně na zvyšující se teplotě. Na dalším obrázku je zobrazena výsledná charakteristika snímače VW.

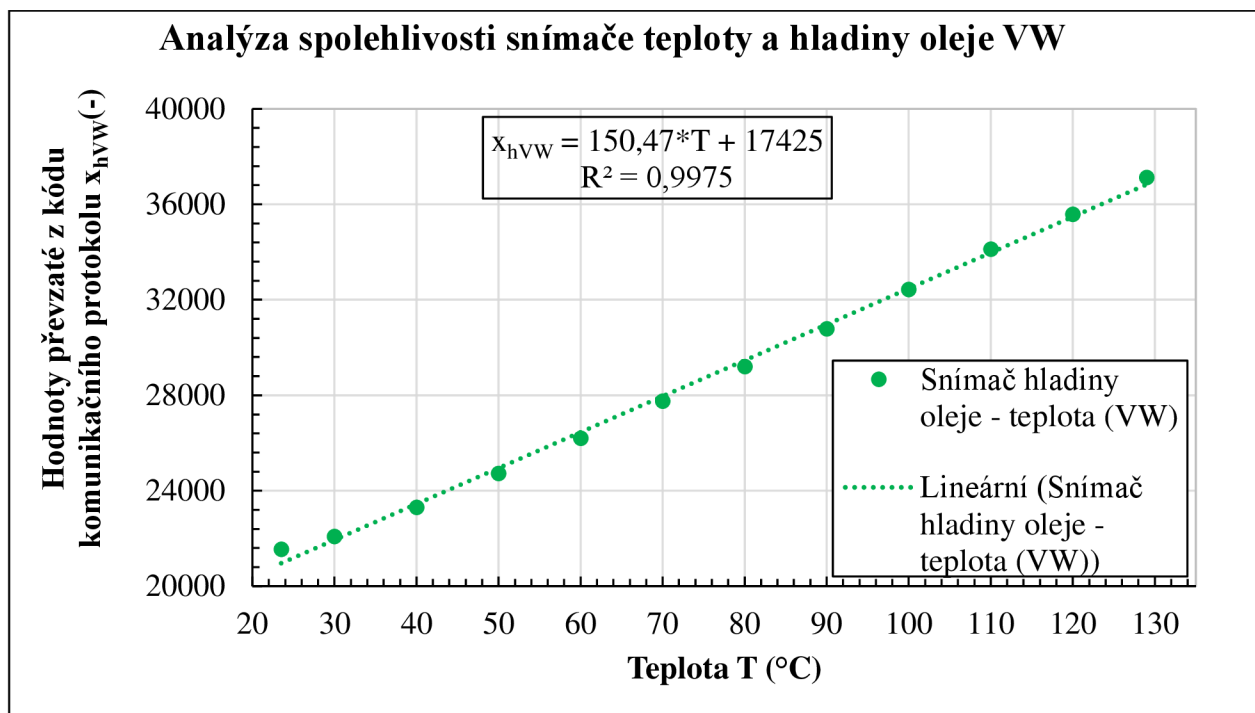
Obrázek 39: Výsledná charakteristika snímače teploty a hladiny oleje VW



Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených hodnot ze snímače NTC umístěném ve snímači hladiny oleje

Pro ověření linearity charakteristiky snímače teploty ve snímači hladiny oleje byla použita regresní přímka. Regresní přímka byla volena z důvodu transformace progresivní charakteristiky NTC snímače na lineární charakteristiku z důvodu použití komunikačního rozhraní. Postup byl obdobný jako u měření snímače tlaku v předchozích kapitolách. Výsledky lineární regrese snímače teploty ve snímači hladiny oleje lze vidět na obrázku 43, kde je výsledná rovnice charakteristiky snímače teploty ve snímači hladiny oleje a jeho míra spolehlivosti.

Obrázek 40: Výsledná křivka míry spolehlivosti měření snímače teploty a hladiny oleje VW



Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených dat ze snímače teploty ve snímači hladiny oleje VW a zpracované charakteristiky.

Výsledná míra spolehlivosti měření snímače teploty ve snímači hladiny oleje dosahuje 99,75 %, což značí vysokou přesnost měření. Z toho lze usoudit, že měření bylo úspěšné.

Pro analýzu charakteristiky snímače hladiny BMW byl postup obdobný jako s předchozím snímačem stejného typu. Jediným rozdílem byla dedukce vyčtených kódů z aplikace Arduino. Cílem bylo zjistit jaká část kódů se mění v závislosti na teplotě. Po úspěšné analýze byla opět vypočtena průměrná hodnota a směrodatná odchylka hodnot pro jednotlivý teplotní bod. Výsledná směrodatná odchylka činila 0,126 %, tudíž pro tak nízkou hodnotu nebyla v grafu charakteristiky aplikována. Níže je zobrazena tabulka dat, z nichž byla následně zpracována charakteristika snímače.

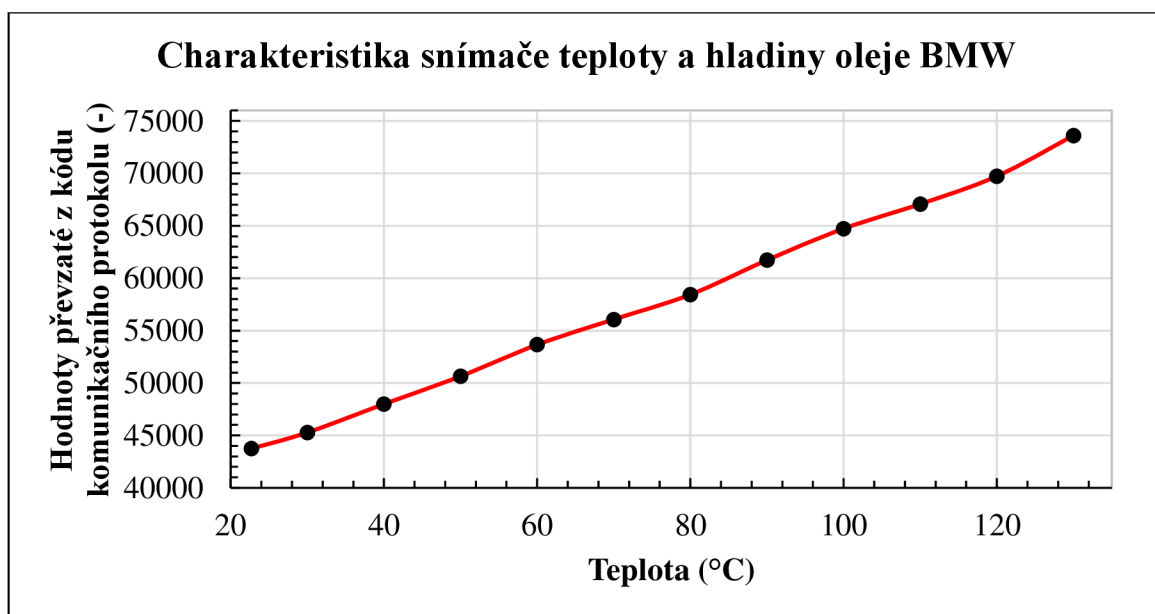
Obrázek 41: Naměřené hodnoty z měření snímače teploty ve snímači hladiny oleje BMW

Teplota (°C)	Hodnoty z komunikačního protokolu snímače	Směrodatná odchylka délky pulzu	Odchylka v procentech
22,7	43740,44	6,471	0,015 %
30,0	45272,96	45,144	0,100 %
40,0	47986,29	43,087	0,090 %
50,0	50636,94	42,188	0,083 %
60,0	53660,67	114,802	0,214 %
70,0	56067,81	82,573	0,147 %
80,0	58433,05	110,538	0,189 %
90,0	61725,30	78,922	0,128 %
100,0	64731,36	81,378	0,126 %
110,0	67069,87	112,442	0,168 %
120,0	69727,29	134,054	0,192 %
130,0	73600,43	48,889	0,066 %
		Průměr	0,126 %

Zdroj: Vlastní zpracování na základě vyčtených dat ze „sériového monitoru“ aplikace Arduino

Výsledkem charakteristiky snímače byla křivka připomínající lineární křivku. V následujícím obrázku lze vidět graf zachycující charakteristiku snímače hladiny BMW.

Obrázek 42: Výsledná charakteristika snímače teploty a hladiny oleje BMW

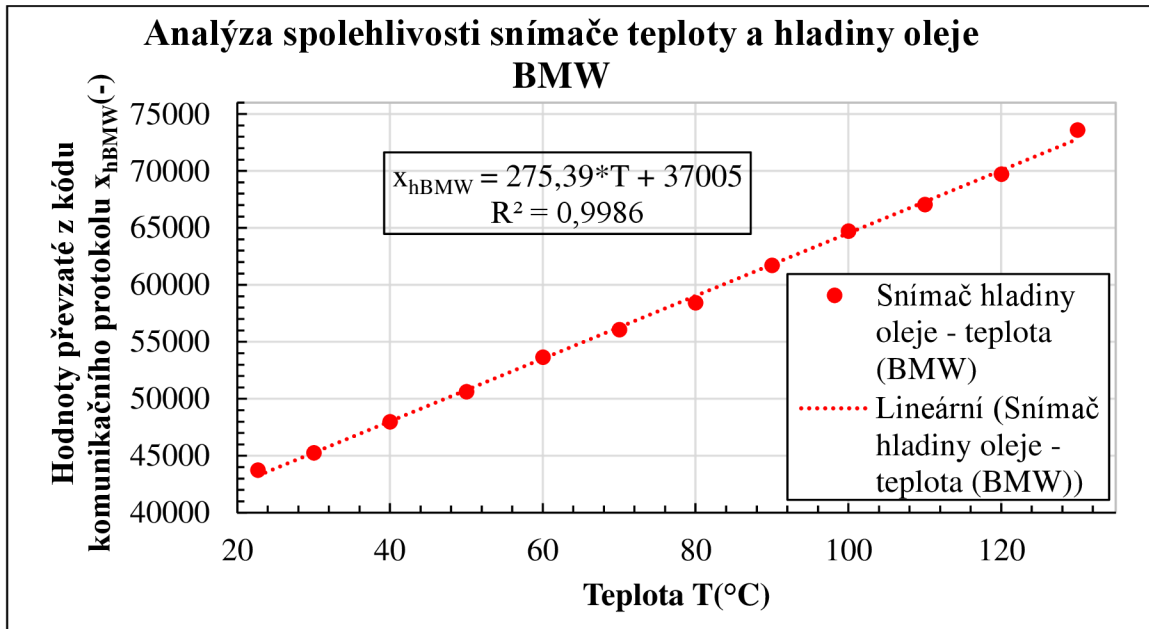


Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených hodnot ze snímače NTC umístěném ve snímači hladiny oleje

Pro ověření linearity charakteristiky snímače teploty ve snímači hladiny oleje značky BMW byla opět použita regresní přímka. Výsledky lineární regrese snímače teploty ve snímači hladiny oleje od výrobce BMW lze vidět na obrázku 46, kde je zobrazena míra

spolehlivosti měření a výsledná rovnice charakteristiky snímače teploty umístěného ve snímači hladiny oleje.

Obrázek 43: Výsledná křivka míry spolehlivosti měření snímače teploty a hladiny oleje BMW



Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených dat ze snímače teploty ve snímači hladiny oleje BMW a zpracované charakteristiky.

Výsledkem míry spolehlivosti měření snímače teploty ve snímači hladiny oleje BMW byl 99,86 %. Tato hodnota značí, že výsledek měření snímače BMW lze vyhodnotit jako úspěšný a výsledky jsou přesné.

Nutno podotknout že hlavním rozdílem měřených snímačů v kapitole 5.3.4 byl interval pulzu přenášející data o teplotě. Zatímco u snímače VW se v komunikačním protokolu vyskytoval pulz nesoucí zprávu v intervalu 21,5 až 37,1 milisekund, u LIN protokolu pulz závislý na teplotě trval v délce od 43,7 milisekund do 73,6 milisekund. Důvodem tohoto rozdílu jsou rozdílné rozložení datového rámce dané komunikační sběrnice.

5.4 Celkové zhodnocení

V celkovém zhodnocení praktické části jsou shrnuty nejdůležitější body této práce. Podstatou porovnání snímačů byla jejich míra spolehlivosti měření kde nejnižší míru spolehlivosti měření vykazoval snímač teploty zahrnutý ve snímači hladiny oleje. Měření tohoto snímače vykazovalo spolehlivost 99,75 %. Na druhou stranu nejvyšší míra spolehlivosti měření proběhla u měření snímače tlaku paliva, kde měření vykazovalo spolehlivost 100 %. Touto hodnotou spolehlivosti, lze vyvodit, že celý proces měřený byl

bezchybný. Ovšem nutno dodat, že míra spolehlivosti u všech měřených snímačů neklesla pod 99,75 %, takže lze tvrdit, že všechna uskutečněná měření snímačů vykazovala velmi vysokou míru spolehlivosti. Výsledné naměřené charakteristiky všech snímačů tudíž vykazovala přesnou hodnotu vůči vstupní měřené veličině. V tabulce 5 jsou výsledné rovnice charakteristik měřených snímačů a jejich jednotlivé míry spolehlivosti měření.

Tabulka 5: Porovnání přesnosti měření všech měřených snímačů mezi sebou

	Rovnice charakteristik jednotlivých snímačů	Míra spolehlivosti R²
Snímač teploty NTC (BMW)	$R_T = -0,0036 \cdot T^3 + 1,0861 \cdot T^2 - 113,34 \cdot T + 4218,8$	99,94 %
Snímač teploty NTC (VW)	$R_T = -0,0035 \cdot T^3 + 1,0435 \cdot T^2 - 108,96 \cdot T + 4121,4$	99,92 %
Snímač tlaku paliva (VW)	$x_{pp} = 371,63 \cdot U_{pp} - 178,63$	100,00 %
Snímač tlaku oleje (VW)	$x_{po} = 369,4 \cdot U_{po} - 251,92$	99,90 %
Snímač teploty a hladiny oleje (VW)	$x_{hVW} = 150,47 \cdot T + 17425$	99,75 %
Snímač teploty a hladiny oleje (BMW)	$x_{hBMW} = 275,39 \cdot T + 37005$	99,86 %

Zdroj: Vlastní zpracování na základě vytvořených grafů jednotlivých měřených snímačů

6 Závěr

V dnešní době se automobilový sektor rozvíjí velkou rychlostí a systémy jak spalovacích, tak jiných druhů motorů se stále zdokonalují. Klíčovou roli v tomto procesu hrají snímače fyzikálních veličin, které lokálně měří veškeré parametry. Tato bakalářská práce se zabývala analýzou a charakterizací vybraných typů těchto snímačů používaných konkrétně ve spalovacích motorech. Výhodou těchto snímačů je jejich vysoká přesnost měření ku poměrně nízké pořizovací ceně. Nižší pořizovací náklady mohou tyto snímače upřednostňovat před použitím násobně dražších univerzálních snímačů i v jiných průmyslových odvětvích. Další výhodou těchto snímačů je použití jednoduchého digitálního přenosu dat a absence přídavného A/D převodníku v obvodu. Díky digitálnímu přenosu lze také ve větší míře eliminovat rušení a zkreslení vlivem převodu na analogové napětí a následně jeho vyčítání A/D převodníkem. Naopak nevýhodou těchto senzorů je konstrukce, která je specializována jen do motorové oblasti, a také složité tvary konektorů snímačů, které jsou pro každého výrobce speciálně a originálně formované.

V úvodní části práce byly představeny základní druhy snímačů, jako jsou tlakové, teplotní, polohové, snímače vibrací, hladiny, průtoku vzduchu, zbytkového kyslíku ve spalínách či oxidu dusíku. Dále se práce věnovala základním principům přenosu dat ze snímačů do jednotek, jako byly přenosy pomocí analogových a digitálních signálů, proudové smyčky, převodník A/D signálu a PWM signál. Následně byly vysvětleny principy komunikačních sběrnic jako LIN – Bus, CAN – Bus, FLEXRAY a SENT.

V praktické části práce byla provedena měření vybraných snímačů, včetně teploty NTC, tlaku paliva, tlaku oleje a hladiny oleje. U měření teploty naměřené hodnoty odpovídaly teoretickým charakteristikám NTC snímačů a bylo je možné s dostatečnou mírou přesnosti proložit regresivní křivkou odpovídající polynomu 3. řádu. V dalším měření NTC snímačů hladiny oleje byla již naměřená teplota převedena na impulsy odpovídající lineární charakteristice. Důvodem této transformace bylo použití komunikačního protokolu. Pro zjištění míry spolehlivosti měření byla výsledná charakteristika opět proložena lineární regresní křivkou. U tlakových snímačů bylo také úspěšně zjištěno, že číselné hodnoty vysílané použitými snímači tlaku, pomocí SENT protokolu, jsou úměrné k měřené veličině s poměrně přesnou lineární charakteristikou výstupního signálu. I přes možné nepřesnosti měřicího postupu, zohlednění lidského faktoru, či chybou měřících přístrojů se zjištěné míry korelace pohybovaly u všech provedených měření v rozmezí od 99,75 % až do 100 %. Z tohoto výsledku vyplývá, že všechna měření jednotlivých snímačů bylo přesné, a tudíž

data z těchto snímačů lze pokládat za věrohodná. Díky dostatečné shodě charakteristik snímačů s teoretickou charakteristikou a dostatečnou přesností měřených snímačů lze tyto snímače aplikovat v jiném průmyslovém prostředí.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2002. ISBN 80-238-7282-6.
- [2] ŠTASTNÝ, Jiří a REMEK, Branko. *Autoelektrika a autoelektronika*. Vyd. 6. Praha: T. Malina, 2003. ISBN 80-862-9302-5.
- [3] DENTON, Tom. *Automobile electrical and electronic systems: automotive technology: vehicle maintenance and repair*. 4th ed. Abingdon: Routledge, 2012. ISBN 978-0-08-096942-8.
- [4] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 3., přeprac. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-17-7.
- [5] What is the difference between NTC and PTC thermistors? Online. Roč. © 2024 Electricity – Magnetism. Dostupné z: <https://www.electricity-magnetism.org/what-is-the-difference-between-ntc-and-ptc-thermistors/>. [cit. 2024-02-29].
- [6] VLČEK, Jiří. Čidla a snímače. Snímače v motorových vozidlech. Online. 2008 [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/docu/texty/0001/000102_cidla_snimace.pdf
- [7] ŠTĚRBA, Pavel. *Elektrotechnika a elektronika automobilů: elektrická zařízení, diagnostika a odstraňování závad*. Rady a tipy pro řidiče (Computer Press). Praha: Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0211-4.
- [8] ČUPERA, Jiří a ŠTĚRBA, Pavel. *Automobily*. Brno: Avid, 2007. ISBN 978-80-903671-9-7.
- [9] BMW GROUP. *Oil-level sensor - V.20: FUB-FUB-FB-GZ-B6120-N47*. BMW Group, 2015. 5 s.
- [10] BMW GROUP. *Coolant level sensor - V.4: FUB-FUB-FB-GZ-B18-G12*. BMW Group, 2016. 2 s.
- [11] KADLEC, Karel. Snímače polohy hladiny – principy, vlastnosti a použití (část 1). Online. Dostupné z: https://automa.cz/cz/web-clanky/snimace-polohy-hladiny-%E2%80%93-principy-vlastnosti-a-pouziti-cast-1-30469_0494/#:~:text=Poloha%20hladiny%20h%20se%20vyhodnocuje,sn%C3%A4ma%C4%8D%20tlaku%20s%20polovodi%C4%8Dov%C3%BDmi%20tenzometry. [cit. 2024-02-29].

- [12] VOJÁČEK, Antonín. Princip a použití Lambda sondy. online. 2006 [cit. 2024-02-29]. Dostupné z:
<https://automatizace.hw.cz/view.php%3Fcislocclanku%3D2006061301>
- [13] ĎAĎO, Stanislav a KREIDL, Marcel. *Senzory a měřicí obvody*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-010-2057-6.
- [14] RŮŽIČKA. Lambda regulace. Online. *AutoEXPERT – portál pro profesionály v autoopravárenství*. 2001. [cit. 2024-02-29].
- [15] VANĚK, A. Kyslíkový senzor /lambda sonda/. Online. 2012. Dostupné z: <http://www.subarudobrany.cz/technika/lambda.html>. [cit. 2024-02-29].
- [16] *WIDEBAND OXYGEN SENSING METHOD AND APPARATUS* (USA). KERDEA TECHNOLOGIES, INC. Uděl.: 18.04.2017. Dostupné z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/76/07/a1/484870500da67a/US9625352.pdf>. [cit. 2024-02-29].
- [17] BMW GROUP. *Nitrogen oxide sensor - V.4: FUB-FUB-FB-GZ-B153-F10*. BMW Group, 2016, 3 s.
- [18] Co Je To Čidlo NOx A Jak Funguje? Online. 2023. Dostupné z: <https://www.shrautoparts.com/cs/know-how-2/co-je-nox-senzor-a-jak-to-funguje/>. [cit. 2024-02-29].
- [19] CARSTENS, Stefan a MAJEWSKI, W. Addy. NOx Sensors. Online. *DieselNet Technology Guide »Sensors for Engine and Emission Control*. 2019. Dostupné z: https://dieselnets.com/tech/sensors_nox.php. [cit. 2024-02-29].
- [20] VOJÁČEK, Antonín. Proudová smyčka 4-20 mA – obecný popis. Online. 2014. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/proudova-smycka-4-20-ma-obecny-popis>. [cit. 2024-02-29]
- [21] What is an Analog Signal? Online. *KEYSIGHT Technologies*. © 2000–2024 Keysight Technologies. Dostupné z: <https://saving.em.keysight.com/en/knowledge/glossary/oscilloscopes/what-is-an-analog-signal-meaning-definition#:~:text=An%20analog%20signal%20is%20a,all%20examples%20of%20analog%20signals>. [cit. 2024-02-29].
- [22] JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav a KUBÁT, Jindřich. *Automobily*. Aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2008. ISBN 978-80-87143-07-0.

- [23] HOLČÍK, CSC., prof. Ing. Jiří. SIGNÁLY A SOUSTAVY V MATEMATICKÉ BIOLOGII. Online. S. 50. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/5989708/>. [cit. 2024-02-29].
- [24] CUFF, prof. Paul. Signals and Systems. Online. 2011-12. Dostupné z: https://www.princeton.edu/~cuff/ele301/files/lecture1_2.pdf. [cit. 2024-02-29].
- [25] Analog and Discrete signals. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.gaussianwaves.com/2023/07/analog-and-discrete-signals/>. [cit. 2024-02-29].
- [26] PROF. ING. JOSEF, Lazar, Dr. Elektronika_10. Online. Dostupné z: https://www.isibrno.cz/~joe/elektronika/elektronika_10.pdf. [cit. 2024-02-29].
- [27] REICHL, Jaroslav. Kvantování signálu. Online. 2006–2024. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1357-kvantovani-signalu>. [cit. 2024-02-29].
- [28] PWM – Pulse-width modulation. Online. 2023. Dostupné z: <https://soldered.com/learn/pwm-pulse-width-modulation/>. [cit. 2024-02-29].
- [29] NEACȘU, Dorin O. *Automotive power systems*. Boca Raton, 2021. ISBN 978-036-7512-972.
- [30] ŠTĚRBA, Pavel. *Elektronika a elektrotechnika motorových vozidel: seřizování, diagnostika závad a chybové kódy OBD*. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-802-6402-718.
- [31] WHITE, Tim. Understanding the SENT Interface. Online. 2014. Dostupné z: <https://www.electronicproducts.com/understanding-the-sent-interface/>. [cit. 2024-02-29].
- [32] SENT Protocol. Online. 2017. Dostupné z: PiEmbSysTech Embedded VLSI Research Hub, <https://piembsystech.com/sent-protocol/>. [cit. 2024-02-29].
- [33] Language References. Online. © 2024 Arduino. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/>. [cit. 2024-02-29].
- [34] HOREJŠ, Karel a Vladimír MOTEJL. *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů*. Vyd. 4. Brno: Littera, 2011. ISBN 978-80-85763-61-4.
- [35] ELMAHALAWY, Ahmed. *Developing the pulse width modulation tool (PWMT) for two timer mechanism technique in microcontrollers – Scientific Figure on ResearchGate*. Online. 2013. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/PWM-signal-with-its-two-basic-time-periods_fig4_271437313 [cit. 2024-02-29]

- [36] KOHANBASH, David. *CAN bus (CANopen & CiA) for Motor Control*. online. 2014. Dostupné z: <https://www.robotsforroboticists.com/can-bus/>. [cit. 2024-02-29].
- [37] TURNER, John. *Automotive Sensors*. 2009. New York, U.S.A.: Momentum Press. ISBN 978-1-60650-009-5.

8 Přílohy

Příloha 1: Hodnoty z programu Arduino pro čtení protokolu SENT

Snímač tlaku oleje (tabulka kooperuje s referenčním tlakem 0,8 MPa)

	A	B	C	D	E	G	H
1	10:29:52.271	->	c1a3073A3072C0	dp	0	3073	3068.874
2	10:29:52.271	->	c1a3073A3073C0	dp	0	3073	2.118214
3	10:29:52.296	->	c1a3073A3073C0	dp	0	3073	
4	10:29:52.330	->	c1a3073A3073C0	dp	0	3073	
5	10:29:52.330	->	c1a3073A3073C0	dp	0	3073	
6	10:29:52.364	->	c1a3073A3073C0	dp	0	3073	
7	10:29:52.399	->	c1a3072A3072C0	dp	0	3072	
8	10:29:52.399	->	c1a3072A3072C0	dp	0	3072	
9	10:29:52.433	->	c1a3072A3072C0	dp	0	3072	
10	10:29:52.482	->	c1a3072A3072C0	dp	0	3072	
11	10:29:52.482	->	c1a3072A3072C0	dp	0	3072	
12	10:29:52.482	->	c1a3072A3072C0	dp	0	3072	
13	10:29:52.516	->	c1a3072A3072C0	dp	0	3072	

časový údaj (synchronizace)

Kód z programu Arduino pro čtení komunikace SENT

potřebná data z rámce SENT protokolu (délka pulzu v μs)

průměr dat (zeleného sloupce)

směrodatná odchylka

Příloha 2: Hodnoty z programu Arduino pro čtení nestandardizovaného protokolu

Snímač NTC a hladiny oleje výrobce VW (hodnoty kooperují s teplotou v peci 130 °C)

	A	B	C	D	E	F
1	79912	34116	34036		34036	34129.67
2	79916	34144	34076		34076	47.84582
3	79904	34152	34080		34080	
4	79900	34172	34116		34116	
5	79912	34200	34124		34124	
6	79904	34188	34128		34128	
7	79928	34180	34128		34128	
8	79916	34216	34140		34140	
9	79916	34228	34160		34160	
10	79912	34228	34160		34160	
11	79912	34256	34196		34196	
12	79912	34268	34212		34212	
13	79900	50036	49932			
14	79916	50020	49940			
15	79912	50012	49944			
16	79916	50016	49944			

vyčítané kódy z aplikace Arduino (již seřazené vzestupně)

mění se kódy v závislosti na změně teploty (délka pulsu v μs)

Průměr dat (červeného sloupce)

směrodatná odchylka

Příloha 3: Hodnoty z programu Arduino pro čtení protokolu LIN

Snímač NTC a hladiny oleje výrobce BMW (hodnoty kooperují s teplotou v peci 22,8 °C)

