



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

DIAGNOSTIKA ZÁVAD U AUTOMOBILU

CAR FAULT DIAGNOSTICS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Matej Potocký

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Matej Potocký

ID: 158639

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Diagnostika závad u automobilu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Diplomová práce se bude věnovat diagnostice závad u automobilů. Téma je vypsáno ve spolupráci s firmou Transervis, s.r.o.

1. Proveďte literární rešerši v oblasti autodiagnostiky.
2. Proveďte literární rešerši a průzkum trhu v oblasti diagnostických přístrojů používaných pro diagnostiku automobilu. Vyberte z nabídky nejvhodnější přístroj z pohledu cena/výkon.
3. Popište běžné diagnostické metody a typické závady u automobilů. Popište metody diagnostiky akčních členů pomocí diagnostického zařízení.
4. Navrhněte metodiku multitestů s optimalizací časové náročnosti.
5. Realizujte navržené multitesty na vybraném diagnostickém zařízení pro specifické projevy poruchy.
6. Dosažené výsledky diskutujte. Zhodnoťte výhody a nevýhody použitého diagnostického systému, jeho cenovou náročnost a možnosti použití.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Robert Bosch GmbH: Automotive Handbook, 9th ed. John Wiley and Sons Ltd, 2014. ISBN 978-0837617329.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 14.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá metódami diagnostiky závad elektronických systémov a spaľovacích motorov automobilov. V práci sú konfrontované výsledky a metódy zistenia závady štandardnými diagnostickými postupmi za použitia diagnostických zariadení a výsledky získané meraním viackanálovým osciloskopom. Ďalej sú v práci navrhnuté diagnostické postupy pre optimalizáciu časovej a finančnej náročnosti zistenia závad.

Abstract

This diploma work is targeting fault diagnostics of electronic systems and engines used in automobiles. Results and methods used to diagnose faults are analyzed within the work, using standard diagnostic methods and devices, results of which were captured measuring with multi-channel oscilloscope. Furthermore, suggestions of using methods optimized for cost and time difficulty factors are made.

Kľúčové slová

automobil, autoservis, autodiagnostika, diagnostika, motor

Key words

automobile, car service, car diagnostics, diagnostics, engine

Bibliografická citácia:

POTOCKÝ, M. Diagnostika závad u automobilu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 97 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Soňa Šedivá, Ph.D..

Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému Diagnostika závad automobilu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej diplomovej práce s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú v práci citované a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nepovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa: **14.5.2018**

.....
podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcej diplomovej práce Ing. Soni Šedivej, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc vyplývajúcu z jej dlhoročných skúseností.

V Brne dňa: **14.5.2018**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	13
2	Teoretický rozbor autodiagnostiky	14
2.1	Sériová autodiagnostika	15
2.1.1	OBD-II a EOBD štandard	15
2.1.2	Možnosti sériovej autodiagnostiky	16
2.1.3	Výhody a nevýhody sériovej diagnostiky	19
2.2	Paralelná autodiagnostika	19
2.3	Snímače vo vozidlách	20
2.4	Technické dokumentácie pre opravy motorových vozidiel	22
2.4.1	Oficiálne dáta výrobcov	23
2.4.2	Informácie tretích strán	22
2.4.3	Zhodnotenie vhodnej voľby zdroja dokumentácie	23
3	Teoretický rozbor dostupných diagnostických prístrojov	24
3.1	Zariadenia pre sériovú diagnostiku	24
3.1.1	Stand-alone zariadenia pre sériovú diagnostiku	25
3.1.2	Zariadenia pre sériovú diagnostiku vo forme PC periférií	26
3.1.3	Dátové rekordéry	27
3.1.4	Čítačky pamäte závad	28
3.2	Zariadenia pre paralelnú diagnostiku – osciloskopy	28
3.2.1	Štandardné digitálne osciloskopy	28
3.2.2	Osciloskopy ako periférie PC	30
4	Zhodnotenie a výber vhodných diagnostických prístrojov	34
4.1	Výber zariadenia pre sériovú diagnostiku	34
4.2	Výber zariadenia pre paralelnú diagnostiku	35
5	Popis používaných diagnostických metód a typické závady automobilov	36
5.1	Diagnostika spaľovacích motorov	36
5.1.1	Diagnostika závad prostredníctvom sériovej diagnostiky	37
5.1.2	Paralelná diagnostika	41
5.2	Automatické prevodovky	46
5.2.1	Paralelná diagnostika funkcie elektromagnetických ventilov ovládacieho bloku hydrodynamickej automatickej prevodovky	46
5.3	Brzdové a stabilizačné systémy	48
5.3.1	Paralelná diagnostika snímačov uhlovej rýchlosti nábojov kolies	48

5.4	Komunikačné zbernice.....	50
5.4.1	Sériová diagnostika komunikačných zberníc.....	50
5.4.2	Paralelná diagnostika komunikačných zberníc	50
6	Návrh metodiky multitestov.....	53
6.1	Multitest meraním dostupných signálov	53
6.2	Návrh multitestov spracovaním signálov	55
6.2.1	Návrh softvérového prevodníka signálu s premennou striedou alebo frekvenciou na zmenu parametrov v čase	56
6.2.2	Návrh multitestu signálu otáčok kľukového hriadeľa.....	68
7	Realizácia multitestov, meranie a spracovanie dát, komentáre k meraniam, zhodnotenie testov	80
7.1	Realizácia multitestov meraním dostupných signálov	80
7.1.1	Diagnostika závady riadiacej jednotky motora	80
7.1.2	Diagnostika závady snímača otáčok kľukovej hriadele	83
7.2	Realizácia multitestu s využitím analyzačného panelu prevodu parametrov signálu na ich zmenu v čase.....	85
7.2.1	Diagnostika závady vysokotlakého palivového čerpadla vznetrového motora	85
7.2.2	Zhodnotenie funkcie analyzačného panelu prevodu signálu na zmeny jeho frekvencie a striedy v čase.....	89
7.3	Realizácia diagnostiky s využitím analyzačného panelu prevodu frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa s jeho deriváciou.....	90
7.3.1	Diagnostika závady vstrekovacích trysiek vznetrového motora	90
7.3.2	Zhodnotenie analyzačného panelu prevodu frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa na zmenu v čase s deriváciou.....	92
7.4	Zhodnotenie realizovaných meraní a výsledkov diagnostiky	92
8	Zhodnotenie optimalizácie multitestov s ohľadom na časovú náročnosť	93
9	Záver.....	94
	Literatúra.....	96
	Zoznam príloh.....	97

Zoznam symbolov a skratiek

Skratky:

OBD	on-board diagnostics	palubná diagnostika
EOBD	European on-board diagnostics	Európska palubná diagnostika
USB	universal serial bus	univerzálna sériová zbernica
CAN	controller area network	údajová zbernica miestnej siete

Symboly:

U	napätie	[V]
I	prúd	[A]
t	čas	[s]
f	frekvencia	[Hz]
T	perióda	[s]
δ_{konv}	chyba konverzie	[Hz]
$\delta_{konv\%}$	relatívna chyba konverzie	[%]
$\delta_{mer\%}$	relatívna chyba vzhľadom na rozsah zmeny meraných hodnôt	[%]
D	strieda	[%]
n	otáčky	[1·min ⁻¹]
p	tlak	[bar]
w	percentuálne množstvo	[%]
Q_m	hmotnostný prietok	[kg·s ⁻¹]

Zoznam obrázkov

Obr. 1 - Sériová a paralelná diagnostika, princíp	14
Obr. 2 - Stand-alone zariadenie (vľavo) a diagnostický adaptér pre použitie s PC (vpravo) [1]	14
Obr. 3 - OBD-II diagnostický konektor (fialový) umiestnený v priestore nôh vodiča automobilu Škoda Fabia.....	16
Obr. 4 - Protokol s výpisom pamäte závad SUPERVAG Comfort VW	17
Obr. 5 – informačné piktogramy prístrojových panelov automobilov, v závislosti od výrobcu sa môžu líšiť [6]	18
Obr. 6 - Graf aktuálnych meraných hodnôt sériovej autodiagnostiky Bosch KTS 540	18
Obr. 7 - Diagnostické zariadenie Launch X431 Pro3s typu stand-alone [3].....	25
Obr. 8 - Okno oslužného softvéru diagnostického zariadenia SUPERVAG Comfort VW	27
Obr. 9 - Ručný osciloskop DevCom TSProColor [4]	29
Obr. 10 - Dvojkanálový ručný osciloskop HANTEK DSO1060 [11]	29
Obr. 11 - PicoScope 4425 sada Standard (zvýraznené komponenty) [11].....	31
Obr. 12 - Texvik DSR [15]	33
Obr. 13 - Aktuálne hodnoty veličín pri výpadku výkonu motora vozidla Opel Astra	39
Obr. 14 - Aktuálne hodnoty tlaku paliva common rail vozidla Opel Astra pri výpadku výkonu	40
Obr. 15 - Nový a starý palivový filter vozidla Opel Astra po 40 tisíc kilometroch od výmeny .	40
Obr. 16 - Priebeh tlaku paliva po výmene palivového filtra vozidla Opel Astra	41
Obr. 17 - Prúd elektromotorom čerpadla chladiacej kvapaliny VW Transporter so závadou komutácie	43
Obr. 18 - Priebeh napätia vstrekovacích ventilov paliva motora Peugeot XFX pri zatváraní	44
Obr. 19 - Graf merania prúdu elektromotorom štartéra pri štartovaní vadného motora Opel X18XE1	45
Obr. 20 - Graf merania vadných signálov ventilu číslo 5 automatickej prevodovky Aisin	47
Obr. 21 - Signál snímača otáčok ľavého predného kolesa vozidla Ford Focus	49
Obr. 22 - Signál snímača otáčok pravého predného kolesa vozidla Ford Focus.....	49
Obr. 23 - Priebeh signálu zbernice CAN-C vozidla Alfa Romeo GT v čase výpadku komunikácie	52
Obr. 24 - Priebeh signálu zbernice CAN-C vozidla Alfa Romeo GT pri odpojení riadiacej jednotky motora	52
Obr. 25 - Okno softvéru osciloskopu Texvik so zobrazením panelu softvérového filtra v spodnej časti	56
Obr. 26 - Okno softvéru osciloskopu Texvik so zobrazením panelu softvérového prevodníka .	57

Obr. 27 - Princíp voľby parametrov pre detekciu hrán v signále[Príloha 1].....	58
Obr. 28 - Blokový diagram funkcie prevodu parametrov meraného signálu na ich zmenu v čase	60
Obr. 29 - Výstupný signál merača hmotnosti nasávaného vzduchu Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu s vyznačením nameranej doby trvania periód signálu (červená).....	61
Obr. 30 - Priebeh frekvencie snímača Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu a vzorkovacej frekvencii 50kHz.....	62
Obr. 31 - Priebeh frekvencie snímača Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu a vzorkovacej frekvencii 125kHz.....	62
Obr. 32 - Priebeh frekvencie snímača Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu a vzorkovacej frekvencii 250kHz.....	62
Obr. 33 - Priebeh frekvencie snímača Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu a vzorkovacej frekvencii 500kHz.....	62
Obr. 34 - Priebeh frekvencie snímača Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu a vzorkovacej frekvencii 1,25MHz	63
Obr. 35 - Zmena striedy ovládania dávkovacej jednotky paliva v čase motora Iveco Daily F1A 100kW	67
Obr. 36 - Priebeh navyšovania tlaku vo valci vznetrového motora pri zmene veľkosti pilotnej dávky paliva [18]	69
Obr. 37 - Signál indukčného snímača otáčok kľukového hriadeľa Mazda 6 2,0 DI 89kW RF5C, 2002.....	70
Obr. 38 - Signálu indukčného snímača otáčok kľukového hriadeľa Ford Transit 2,2 TDCi 63kW P8FA, 2011	70
Obr. 39 - Signál hallovho snímača otáčok kľukového hriadeľa Volvo V60 2,4 D5 158kW, 2011	70
Obr. 40 - Zmena frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa Mazda 6.....	71
Obr. 41 - Zmena frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa Ford Transit.....	71
Obr. 42 - Zmena frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa Volvo V60.....	72
Obr. 43 - Filtrovaný a aproximovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Mazda 6 .	73
Obr. 44 - Filtrovaný a aproximovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Ford Transit	73
Obr. 45 - Filtrovaný a aproximovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Volvo V60	73
Obr. 46 - Aproximovaný a derivovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Mazda 6	74
Obr. 47 - Priebeh prúdu štartérom Mazda 6 počas štartovania motora.....	74

Obr. 48 - Aproximovaný a derivovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Ford Transit	75
Obr. 49 - Aproximovaný a derivovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Volvo V60	75
Obr. 50 - Analyzačný panel prevodu frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa na zmenu jeho frekvencie v čase s deriváciou.....	76
Obr. 51 - Okno softvéru osciloskopu Texvik so zobrazením analyzačného panelu prevodníka frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa	77
Obr. 52 - Blokový diagram funkcie prevodu signálu snímača otáčok kľukového hriadeľa na zmenu jeho frekvencie v čase s možnosťou lineárnej aproximácie a derivácie.....	77
Obr. 53 - Graf priebehu signálov otáčok kľukového (červený) a vačkového hriadeľa (modrý). 81	
Obr. 54 - Graf priebehu spínacieho signálu vstrekovala 1. valca počas výpadku	82
Obr. 55 - Graf priebehu napätia snímača tlaku paliva počas výpadku.....	82
Obr. 56 - Graf priebehu prúdu dávkovacou jednotkou paliva počas výpadku.....	82
Obr. 57 - Graf priebehu prúdu, napájacieho napätia a ovládacieho napätia dávkovacej jednotky	83
Obr. 58 – Graf priebehu signálov kľukového (červená) a vačkového hriadeľa (modrá)	84
Obr. 59 - Graf priebehu signálu napájacieho napätia vstrekovala paliva do 1. valca.....	84
Obr. 60 - Tlak podávacieho čerpadla palivovej nádrže.....	87
Obr. 61 - Napájacie napätie (modrá) a ovládacie napätie striedy (červená) dávkovacieho ventilu	87
Obr. 62 - Prúd dávkovacej jednotky paliva.....	87
Obr. 63 - Napätie snímača vysokého tlaku paliva (modrá), strieda ovládania dávkovacieho ventilu (zelená).....	87
Obr. 64 - Napätie snímača vysokého tlaku paliva (modrá), strieda ovládania dávkovacieho ventilu (zelená) po výmene vysokotlakého čerpadla	88
Obr. 65 - Meranie prúdu generátora a ovládacieho napätia 1. vstrekovala Mazda 6	91

Zoznam tabuliek

Tab. 1 - Oficiálne portály technických dát výrobcov vozidiel a ceny prístupu vrátane DPH platné k 18.10.2017	23
Tab. 2 - Nezávislí poskytovatelia technických dát a ceny bez DPH za nájom softvéru platné k 10.1.2018.....	22
Tab. 3 - Štandardné napäťové úrovne vodičov komunikačnej zbernice CAN.....	51
Tab. 4 - Odčítanie trvania periód a ich rozdielov z grafu na Obr. 36.....	61
Tab. 5 - Relatívna chyba konverzie frekvencie signálu pri vzorkovacej frekvencii 1,25MHz ...	64
Tab. 6 - Relatívna chyba konverzie frekvencie signálu pri vzorkovacej frekvencii 500kHz.....	64
Tab. 7 - Relatívna chyba konverzie signálu merača hmotnosti vzduchu vzhľadom na rozsah meraných hodnôt v čase	65
Tab. 8 - Relatívna chyba konverzie 50% striedy signálu pri vzorkovacej frekvencii 500kHz ...	66
Tab. 9 - Relatívna chyba konverzie 50% striedy signálu pri vzorkovacej frekvencii 125kHz ...	66
Tab. 10 - Relatívna chyba konverzie striedy ovládania dávkovacej jednotky paliva vzhľadom na rozsah meraných hodnôt v čase.....	67

1 ÚVOD

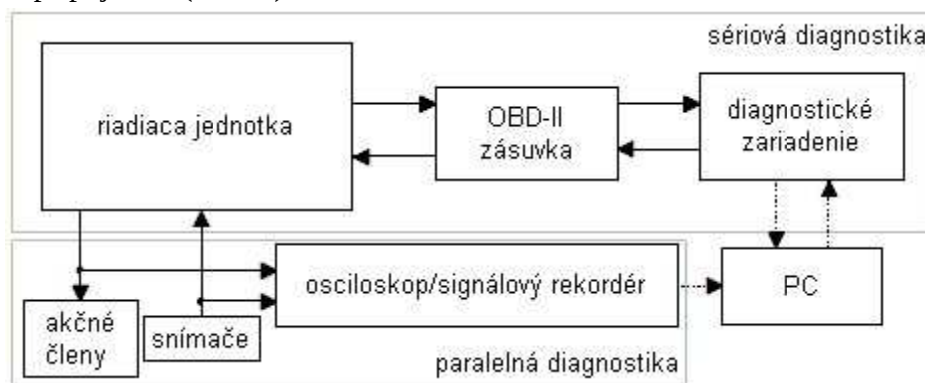
Poruchy automobilov predstavujú bežnú súčasť ich prevádzkovania. S nástupom moderných elektronických systémov v 90-tych rokoch došlo k výraznej zmene v spôsoboch opráv áut, predovšetkým v zmysle hľadania závad. Časté sú závady elektroniky či už v oblasti motora alebo komfortného systému vozidla, kde principiálne nie je možné opravy prevádzať výmenným spôsobom. Prípadne takýto spôsob opravy môže znamenať neprimerané finančné náklady na opravu s dlhodobou neistým výsledkom.

Vznikajú preto požiadavky na vytvorenie univerzálnych diagnostických postupov poskytujúcich za primerané vstupné náklady v podobe školení personálu či nákupu diagnostickej techniky, rýchle a spoľahlivé vyhľadávanie závad. S príchodom OBD-II [2] (on-board diagnostics) diagnostického štandardu popisujúceho tvar konektora, jeho umiestnenie, zapojenie a používané komunikačné protokoly, už nie je nutné vlastniť diagnostické zariadenie špecifické pre skupinu výrobcov vozidiel. Otvoril sa tak priestor pre výrobcov diagnostických zariadení, ktorí na trh priniesli univerzálne riešenia pre takmer všetky značky vozidiel. Zároveň ale často dochádza k závadám, ktoré nie je možné riešiť prostým vyčítaním pamäte závad systémov a následnou výmenou daného komponentu. Vzniká preto výrazný rozdiel medzi autoservismi snažiacimi sa o opravy za použitia jednoduchej sériovej diagnostiky, ktoré sa častokrát neúspešne snažia o opravu a autoservismi s moderným prístupom k vyhľadávaniu závad v podobe paralelnej diagnostiky osciloskopom. Týmto riešením je možné zo znalosti princípu funkcie snímačov a komunikačných systémov vo vozidle presne špecifikovať záadu. Záada je diagnostikovaná s istotou a spätným overením funkčnosti už pri prvom pokuse o opravu. Znižujú sa časové, ako aj finančné nároky na opravu, navyše s jasným dôkazom o pôvode záady a jej riešenia bez nutnosti fyzickej podrobnej analýzy vadného komponentu.

Cieľom tejto práce je vybrať vhodné diagnostické zariadenie pre sériovú a následne aj paralelnú diagnostiku. Rozobrať vlastnosti jednotlivých diagnostikovaných systémov vozidiel, používaných snímačov a ich typických závad s praktickým ukázkami. Načrtnúť možnosti diagnostiky s výhodami aj nevýhodami a v konečnom dôsledku navrhnuť funkčné diagnostické postupy vedúce k cieľavedomým riešeniam závad a porovnať ich s existujúcimi diagnostickými postupmi. Vzniknú tak diagnostické postupy optimalizované z hľadiska časovej aj finančnej náročnosti.

2 TEORETICKÝ ROZBOR AUTODIAGNOSTIKY

Diagnosticke zariadenia (Obr. 2) rozdeľujeme na tie určené pre sériovú diagnostiku a paralelnú diagnostiku (Obr. 1). Sériová diagnostika je realizovaná použitím diagnostického zariadenia jeho pripojením k diagnostickej zásuvke automobilu. Medzi automobilom a zariadením je tak vytvorené rozhranie zabezpečujúce komunikáciu s vozidlom potrebným komunikačným protokolom. Ako je z obrázku patrné, informácie o signáloch zo snímačov sú spracovávané riadiacou jednotkou a až následne predávané prostredníctvom zásuvky diagnostickému zariadeniu. Obsluha nemá prehľad o validite signálov smerujúcich od snímačov do riadiacej jednotky alebo o signáloch ovládajúcich akčné členy. Tieto diagnostické zariadenia poznáme v prevedení ako stand-alone či v podobe adaptéra pripojiteľného k PC USB rozhraním alebo bezdrôtovým, najčastejšie bluetooth pripojením (Obr. 2).



Obr. 1 - Sériová a paralelná diagnostika, princíp



Obr. 2 - Stand-alone zariadenie (vľavo) a diagnostický adaptér pre použitie s PC (vpravo) [1]

Paralelnú diagnostiku predstavuje meranie skutočných hodnôt signálov snímačov smerovaných na piny riadiacich jednotiek a opačne smerom k akčným členom. Tento signál je najčastejšie sledovaný osciloskopom či signálovým rekordérom a následne analyzovaný, najlepšie v čase výskytu hľadanej závady. Podobne ako v prípade sériovej diagnostiky nevzniká nutnosť použitia PC v závislosti od použitého meracieho

zariadenia. Použitie PC je však vysoko výhodné pre možnosť dlhodobého záznamu signálov zachycujúcich prejav závady.

2.1 Sériová autodiagnostika

Základy sériovej diagnostiky boli v bežných osobných automobiloch položené približne v 70-tych rokoch, kedy koncerny Volkswagen a General Motors začali vo svojich vozidlách zavádzať elektronické riadenie vstrekovania paliva do motora. So zavedením elektronických systémov súvisia aj nové typy závad, ktoré je nutné riešiť. Z toho dôvodu vznikli diagnostické štandardy, vtedy ešte špecifické pre konkrétnych výrobcov vozidiel. To vytváralo vysoké finančné nároky, kedy bolo nutné zaobstarať rôzne diagnostické zariadenia, každé vhodné pre špecifických výrobcov vozidiel. Tento fakt položil základy pre vznik špecializovaných autoservisov nezávislých od autorizovaných. Výhoda špecializácie spočívala hlavne v znížení počiatkových nákladov, ako aj v praktickej znalosti štandardných závad zastrešených značiek. S čím, taktiež, za ideálnych okolností súvisí šetrenie časového fondu pri opravách, nasledované potencionálne vyšším ziskom. Väčší tlak na štandardizáciu vyvolal v roku 1992 vznik emisných euro noriem pre zážihové aj vznetrové motory. V reakcii na emisnú problematiku vznikla potreba kontroly správnej funkčnosti elektronických systémov motorov na staniciach technickej a emisnej kontroly. Pre tieto stanice by bola nutnosť zakúpenia individuálnych diagnostických zariadení pre ich vtedajšiu cenu nerentabilná.

2.1.1 OBD-II a EOBD štandard

V roku 1996 bol ako prvý v USA povinne zavedený štandard OBD-II pre všetky novo predané vozidlá. V Európe sa tento štandard stal bežným ako EOBD vo vozidlách predávaných približne od roku 2000. Česká automobilka Škoda Auto ho zaviedla už v modeloch Felicia a Octavia v roku 1996. Štandard určuje predovšetkým tvar a rozloženie funkcií jednotlivých kontaktov diagnostického konektora (Obr. 3) umiestneného podľa normy najčastejšie vo vzdialenosti maximálne 0,6m od volantu, pokiaľ výrobca neuvádza inak, znakom je taktiež fialová farba konektora. Štandardizovaný tvar konektora ale neprinútil výrobcov vozidiel používať rovnaký komunikačný protokol. Tieto rozdiely boli vyriešené vývojármi diagnostických zariadení, čím sa odstránila potreba špecializácie autoservisov. Neskôr tento štandard určila špecifikácia SAE J1962 pre osobné a nákladné automobily. [2]

Špecifikácia ďalej určuje kódovanie jednotlivých závad, pozostávajúce z 1 písmena a dvoch dvojčíslí, kde písmeno určuje systém, v ktorom sa závada vyskytuje:

- P – pohon (motor, prevodovka)
- B – vybavenie interiéru (klimatizácia, zádržné systémy)
- C – karoséria (protišmykové systémy)
- U – komunikačné systémy

Prvé dvojčísľie v kóde závady určuje časť systému, v ktorom závada nastala a druhé dvojčísľie značí konkrétnu závadu:

- P00 – riadenie množstva paliva a vzduchu pre riadenie emisného systému
- P01 – riadenie množstva paliva a vzduchu
- P02 – riadenie množstva paliva a vzduchu v obvode vstrekovania
- P03 – systém zapalovania a poruchy vynechávania chodu
- P04 – prídavné systémy riadenia emisií
- P05 – riadenie výkonu vozidla a voľnobežného režimu
- P06 – výstupné obvody riadenia akčných členov
- P07 – riadenie prevodovky
- P08 – riadenie prevodovky

Kód závady P0322, preto podľa písmena P na začiatku znamená poruchu v systéme pohonu vozidla, konkrétne systému zapalovania u zážihových alebo poruchu vstrekovania u vznetových motorov, pričom dvojčísľie 22 na konci znamená poruchu signálu snímača otáčok kľukového hriadeľa. [2]

S príchodom tohto štandardného diagnostického rozhrania sa tak otvorili dvere nezávislých autoservisov takmer všetkým zákazníkom. Najmä pre zvyšujúce sa nároky na emisné limity sa ale začína opakovať situácia pred zavedením OBD-II štandardu a začína sa opäť vyžadovať špecializácia, avšak nie pre komplexnosť vývoja automobilov ako takých, ako bude popísané v ďalších kapitolách.



Obr. 3 - OBD-II diagnostický konektor (fialový) umiestnený v priestore nôh vodiča automobilu Škoda Fabia

2.1.2 Možnosti sériovej autodiagnostiky

Prostredníctvom sériovej diagnostiky je možné realizovať väčšinu základných diagnostických prác na súčasných vozidlách. V závislosti od výrobcu komponentov osadených vo vozidle sa možnosti jednotlivých diagnostických zariadení môžu líšiť, tieto rozdiely je však častokrát možné zistiť iba praktickými skúsenosťami získanými prácou na jednotlivých vozidlách pri použití rôznych diagnostických zariadení.

Medzi základné možnosti sériovej diagnostiky patria:

- čítanie a mazanie pamäte uložených závad
- zobrazenie nameraných a vypočítaných prevádzkových hodnôt
- testovanie akčných členov
- prevádzanie základných nastavení akčných členov
- automatizované testy

Čítanie pamäte závad a tlač protokolu o diagnostike s ich výpisom uvedeným na Obr. 4 je prvým krokom po prijatí vozidla do opravy. Prvým typom závad sú závady sporadické, ktoré nemusia nutne predstavovať reálnu poruchu na vozidle, v závislosti od ich konkrétneho znenia. Druhým typom sú závady trvalé, ktoré sú relevantné z hľadiska poruchy aktuálne trvajúcej na vozidle. Trvalé závady najčastejšie súvisia s rozsvietením kontrolky (Obr. 5 – červené a oranžové) poruchy systému, v ktorom porucha nastala.

U riadiacich jednotiek motorov je najčastejšie rozsvietenie kontrolky poruchy spojené s emisne relevantnými závadami a to aj u závad sporadických. Závady vplývajúce na množstvo vypúšťaných emisií navyše často vyvolávajú prechod do takzvaného núdzového režimu prevádzky. Ten spôsobí u motorov výrazne znížený výkon tak, aby bolo možné vozidlo bezpečne dopraviť do autoservisu. U sporadických závad platí, že môže dôjsť k zmazaniu závady v závislosti od výrobcu vozidla aj samovoľne v prípade, že sa neprejaví znova po dobu niekoľkých jazd vozidlom.

Protokol o vlastní diagnostice

		30.11.2015 10:23:23	
Označení servisu :	transervis s.r.o	Číslo servisu :	
Vozidlový systém :	Touran - Elektronika motoru	Identifikační číslo vozidla :	WVGZZZ1TZ5W024428
Identifikace jednotky :	03G906016BQ 6254 R4 2 0L EDC G200SG 19 06		
Zákazník :	04 VWZ7Z0D0116016	Kódování vozidla	

Výpis paměti závad	
16706	Snímač otáček motoru -G28 • žádný signál

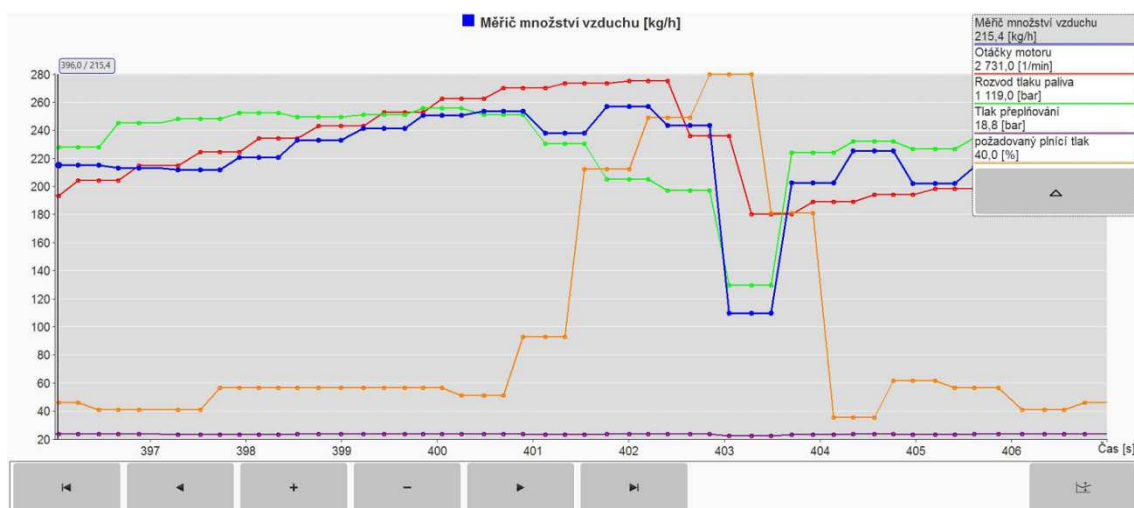
Obr. 4 - Protokol s výpisom pamäte závad SUPERVAG Comfort VW

Ďalšou funkciou je zobrazenie aktuálnych hodnôt nameraných snímačmi pripojenými k diagnostikovanej riadiacej jednotke. Z týchto hodnôt je možné posúdiť funkčnosť snímačov vzhľadom k ich skutočným hodnotám. Najčastejšie je možné odhaliť poruchy snímačov teploty, ktoré často trpia na aditívne chyby. Tie nemusia vyvolať zapísanie závady v pamäti závad, ak ich hodnota je v pásme reálne očakávaných hodnôt, no spôsobia evidentné nedostatky pri prevádzke vozidla. Vo väčšine diagnostických zariadení je navyše možné zobrazenie aktuálnych hodnôt v prehľadnom grafe – na Obr. 6, čo vytvára ďaleko lepšie možnosti pochopenia poruchy. Obnovovacia frekvencia hodnôt sa bežne pohybuje od 1 Hz do maximálne

5 Hz, v závislosti od počtu zvolených zobrazovaných hodnôt a softvéru konkrétnej riadiacej jednotky. Nie je tak zaručené, že dôjde k zachyteniu sporadickej poruchy.



Obr. 5 – informačné piktogramy prístrojových panelov automobilov, v závislosti od výrobcu sa môžu líšiť [6]



Obr. 6 - Graf aktuálnych meraných hodnôt sériovej autodiagnostiky Bosch KTS 540

Testovanie akčných členov umožňuje overiť fyzickú funkčnosť aktuátorov a iných akčných členov aktiváciou a ich následnou fyzickou kontrolou, prípadne kontrolou signálu zo snímačov ich polohy, ak ním sú vybavené. Nevýhodou je nemožnosť overenia plynulého chodu, respektíve čiastočného zadierania, kde sa ale otvára priestor pre paralelnú diagnostiku ako bude uvedené v nasledujúcich kapitolách.

Základné nastavenia využívame z dôvodu uloženia koncových dorazov akčných členov so spätnou väzbou snímačom ich aktuálnej polohy. Nastavenie je realizované po výmene akčného členu alebo snímača jeho polohy, ako aj pri čistení zanesených dosadacích plôch koncovej polohy. Ide predovšetkým o elektronické škrtiace klapky, ventily spätnej recirkulácie spalín alebo aj aktuátory klapiek klimatizácie a iné.

Automatizované testy sú špecifické v závislosti od výrobcu a typu riadiacej jednotky. Základný test komponentov je automaticky prevádzaný po každom zapnutí zapalovania, kedy sú kontrolované hodnoty výstupov snímačov a odpory vstupných obvodov akčných členov. Výstupy snímačov sa kontrolujú vzhľadom na medzné hodnoty, u akčných členov sa testuje možné prerušenie alebo skrat vedenia či členu

samotného. Medzi testy vyvolané obsluhou patrí napríklad porovnanie vstrekovaného množstva paliva do jednotlivých valcov u elektronicky riadených priamo vstrekaných zážihových a elektricky riadených vznetrových motorov. Ďalšou možnosťou môže byť aj približné meranie kompresného tlaku valcov. S nástupom prísnych emisných noriem sa v meraných hodnotách začali vyskytovať aj požadované hodnoty signálov snímačov. Tieto hodnoty sú získavané simuláciou najčastejšie prostredníctvom neurónovej siete naučenej na funkčný model riadeného motora. Zo znalosti požadovanej hodnoty a určením medzných odchýlok je možné predčasne odhaliť aj malú poruchu.

2.1.3 Výhody a nevýhody sériovej diagnostiky

V závislosti od skúseností konkrétneho automechanika získaných praxou v obore sa môže pohľad na sériovú autodiagnostiku líšiť. Hlavnou výhodou je rýchlosť procesu diagnostiky, kde v súčasnosti stačí pripojenie diagnostického zariadenia k zásuvke v automobile a spustenie automatického testu v ovládacom softvéri. Vďaka tomu je možné jednoducho diagnostikovať závady spôsobené úplným prerušením vedenia akčných členov alebo snímačov. Problematické sú sporadické závady plynúce z čiastočne prerušenej kabeláže pre jej umiestnenie, oxidácie v konektoroch spôsobené vniknutím vlhkosti či opotrebovania potenciometrických odporových dráh snímačov. Ďalšie neistoty vnášajú mechanické poruchy, netesnosti vedenia vzduchu, výfukových sústav, poruchy automatických prevodoviek či poruchy spôsobené koróziou alebo zanesením pulzných rotorov.

Mechanické poruchy so sebou vždy nesú výchyľky v nameraných hodnotách, ktoré však nemusia byť v evidentnom rozpore s očakávanými hodnotami. Taktiež môžu spôsobiť výchyľky meraných hodnôt na snímačoch priamo nesúvisiacich so systémom, na ktorom k závade došlo. Závada môže byť taktiež indikovaná nesprávnou simuláciou požadovanej hodnoty, keďže táto hodnota môže byť viazaná na iný, avšak nie vadný komponent vozidla. Samostatnú kapitolu tvoria poruchy komunikačných zberníc, ktoré prakticky sériovou diagnostikou nie je možné diagnostikovať inak ako fyzickou kontrolou kabeláže vedúcej k problematickému komponentu a meraním ukončovacích odporov vedenia. Bez ďalšej paralelnej diagnostiky alebo predošlých skúseností je závady tohto typu veľmi obtiažne efektívne a presne diagnostikovať. V každom prípade sa doporučuje pred započatím akejkoľvek opravy aktualizovať firmvér riadiacich jednotiek vozidla pre odstránenie softvérových závad vzniknutých pri ich vývoji.

2.2 Paralelná autodiagnostika

Zvyšujúce sa nároky vodičov na komfort automobilu, ako aj prísne emisné normy, vyžadujú presné a komplikované riadiace systémy. Spolu s narastajúcimi cenami náhradných dielov sú kladené nároky na presnú a precíznu diagnostiku určujúcu s čo najväčšou pravdepodobnosťou príčinu závady a jej riešenie. Preto sa otvára priestor pre nové diagnostické postupy umožňujúce práve taký spôsob riešenia závad. Analýzou

signálov snímačov a akčných členov osciloskopom je možné často už zo znalosti princípu ich funkcie určiť možné príčiny aj veľmi sporadických závad. Súčasne však každý komponent podlieha opotrebeniu, ktoré nemusí nutne spôsobiť hľadaniu závady. Taktiež častokrát nie je možné získať vzorové oscilogramy meraného komponentu, preto je nutné vychádzať zo spomínanej znalosti princípov. Pre účely paralelnej diagnostiky sa v súčasnosti využívajú osciloskopy alebo inak signálové rekordéry s funkciou dlhodobého záznamu meraného signálu pre možnosť hľadania vady v nameraných priebehoch.

Vzhľadom na obmedzené možnosti sériovej diagnostiky existuje značný priestor pre paralelnú diagnostiku, ktorá umožňuje dôkladnú analýzu závady. Navyše je možné ďalším spracovaním meraných signálov získať nové informácie obsiahnuté v signáloch.

2.3 Snímače používané vo vozidlách

Pre dosiahnutie komfortnej a bezpečnej prevádzky vozidla pri splnení moderných emisných noriem je nevyhnuté precízne meranie polohy niektorých rotujúcich častí vozidiel, akými sú kľukové a vačkové hriadele, hriadele prevodoviek či náboje kolies. Medzi ďalšie merané veličiny patria vibrácie motorov pre optimalizáciu ich chodu, tlak paliva a nasávaného vzduchu do motora, jeho množstvo, teplota, ako aj teplota ostatných častí, vrátane komponentov klimatizácie a interiéru vozidla.

Funkcia akčných členov je diagnostikovaná v prípade konštrukcie bez spätnej väzby, teda bez snímania ich reálnej polohy, prostredníctvom merania pretekajúceho prúdu testovacieho napätového impulzu. Naopak v konštrukcií akčného členu so spätnou väzbou je odozva akčného členu zisťovaná v napätovom priebehu snímača jeho polohy. V oboch prípadoch tak je možné zistenie žiadnej, pomalej alebo neplynulej reakcie na riadiaci signál.

Meraním napätových a prúdových priebehov týchto signálov posudzujeme ako mechanický stav súčastí akčných členov, tak aj snímačov samotných. Niemenej dôležitými sú signály zberníc CAN/VAN/LIN BUS, K-Line a optických.

V automobiloch sú bežne inštalované snímače pre meranie: [9]

1. Polohy rotujúcich častí, pohyblivých častí akčných členov alebo ovládacích prvkov, polohy snímačov hladiny a koncových dorazov.
 - snímače polohy bezkontaktné
 - indukčné
 - Hallove snímače
 - magnetorezistívne pseudo-hall
 - optické
 - ultrazvukové
 - fázové
 - snímače polohy kontaktné - odporové
 - s plynulou zmenou odporu
 - so skokovou zmenou odporu

2. Vibrácií pre zisťovanie kvality a časovania spaľovania motora.
 - snímače vibrácií
 - piezoelektrické
 3. Množstva nasávaného vzduchu do motora pre precízne riadenie spaľovania.
 - snímače objemu alebo hmotnosti vzduchu
 - náporové s otočnou klapkou
 - vírové
 - tepelné
 4. Teploty nasávaného vzduchu do motora, paliva, častí klimatizácie a interiéru pre zabezpečenie komfortu posádky.
 - kontaktné snímače teploty
 - NTC
 - PTC
 5. Atmosférického tlaku a tlaku nasávaného vzduchu, paliva, chladiča klimatizácie, hydraulického brzďového systému a tlaku vo výfukovom potrubí.
 - snímače tlaku
 - deformačné membránové
 - diferenčné
 6. Pohybu vozidla počas jazdy, rotácie okolo zvislej osi pre stabilizačné systémy.
 - snímače zrýchlenia a rotácie, bližšie nešpecifikované, unifikované vrátane prevodníka pre komunikačnú zbernicu
 7. Kvality spaľovania motora snímaním zloženia výfukových plynov, snímače kvality nasávaného vzduchu klimatizácie.
 - elektrochemické snímače plynov – lambda sondy
 - skokové
 - širokopásmové
 - snímače NO_x
 8. Hladiny prevádzkových kvapalín, paliva v nádržiach.
 - snímače hladiny
 - vodivostné
 - plavákové
- Ďalej sú vozidlá vybavené akčnými členmi určenými pre: [9]
1. Riadenie prietoku kvapalín.
 - ventily
 - elektromagnetické
 - piezoelektrické
 2. Riadenie pohybu klapiek a prietoku a smeru prúdenia kvapalín a plynov, pohon čerpadiel.
 - elektromotory
 - komutátorové
 - bezkomutátorové

3. Riadenie zapalovania.
 - zapalovacie moduly
 - o indukčné
 - o kapacitné
4. Ohrev kvapalín a plynov.
 - odporové topné telesá
5. Spínanie výkonových akčných členov
 - spínacie a prepínacie relé

Princípy používaných snímačov boli bližšie prebrané v semestrálnej práci Diagnostika závad automobilu.

2.4 Technické dokumentácie pre opravy motorových vozidiel

Základom pre cieľavedomú diagnostiku je mať k dispozícii spoľahlivé podklady, predovšetkým vo forme schémy zapojenia diagnostikovaného systému. Nemenej dôležitými sú informácie o zvolávacích akciách, alebo oficiálne servisné správy vzťahujúce sa ku konkrétnym závadám.

2.4.1 Informácie tretích strán

Vzhľadom na pomerne vysoké ceny a potrebu platby za obmedzený časový prístup sú na trhu k dispozícii riešenia poskytovania technických informácií od tretích strán. Za ročný poplatok tak je k dispozícii množstvo základných dát a schém zapojenia pre väčšinu značiek vozidiel. Vzhľadom na snahu priniesť maximum dát za primeranú cenu je ale potrebné vždy overovať správnosť predovšetkým schém zapojenia vzhľadom ku konkrétnemu vozidlu. Často sa stretávame s nedostatkami v podobe nesúhlasiacich zapojení, či odlišne usporiadaných konektorov riadiacich jednotiek.

Tab. 1 - Nezávislí poskytovatelia technických dát a ceny bez DPH za nájom softvéru platné k 10.1.2018

poskytovateľ	webová adresa	cena za prístup
Autodata	http://www.autodata.cz	15500Kč/rok/1xPC
HaynesPro (VIVID)	http://www.workshopdata.com	14800Kč/rok

Niektorí distribútori autodiélov ponúkajú dotované riešenia na báze softvéru HaynesPro s individuálne určenou cenou na základe množstva odobraného tovaru.

Nespornou výhodou týchto riešení je cena a dlhodobá prístupnosť pre množstvo značiek výrobcov v porovnaní s oficiálnymi riešeniami. Nevýhodou môže byť už spomínaná nespoľahlivosť uvádzaných dát.

2.4.2 Oficiálne dáta výrobcov

Každý z výrobcov automobilov je povinný zverejňovať servisné technické informácie o ním predávaných automobiloch. Neexistuje však predpis, podľa ktorého by bola jednoznačne určená cena za prístup k takýmto informáciám.

Ceny uvedené v , najčastejšie za časovo limitovaný prístup sa preto u jednotlivých výrobcov značne líšia a pohybujú sa najčastejšie od 5€ do 8€ vo forme hodinovej tarifikácie prístupu. Výnimkou boli do roku 2018 výrobcovia značiek KIA a Hyundai, ktorí servisné informácie zverejňovali na svojich portáloch zdarma.

Za cenu poplatku sú k dispozícii všetky oficiálne a predovšetkým aktuálne technické informácie v podobe, v akej sú k dispozícii pre autorizované servisy danej značky.

Tab. 2 - Oficiálne portály technických dát výrobcov vozidiel a ceny prístupu vrátane DPH platné k 18.10.2017

výrobca	webová adresa	cena za prístup
Audi	http://erwin.audi.com	7€/hodina
BMW	http://www.bmwtech.info	30\$/deň
Citroen	http://service.citroen.com	5€/hodina
Ford	http://www.etis.ford.com	8€/hodina
Honda	http://techinfo.honda.com	10\$/deň
Hyundai	http://service.hyundai-motor.com	zdarma
Kia	http://www.kia-hotline.com	zdarma
Mercedes	http://www.startekinfo.com	60\$/deň
Peugeot	http://public.servicebox.peugeot.com	5€/hodina
Seat	http://erwin.seat.com	7€/hodina
Škoda	http://erwin.skoda.com	7€/hodina
Toyota	http://techinfo.toyota.com	15\$/2 dni
Volvo	http://www.volvotechinfo.com	3,5\$/3dni
Volkswagen	http://erwin.volkswage.com	7€/hodina

2.4.3 Zhodnotenie vhodnej voľby zdroja dokumentácie

Najvýhodnejšie riešenie je vysoko závislé od prípadnej špecializácie konkrétneho autoservisu, kde je výhodnejšia platba za oficiálne a garantované technické informácie. Naopak pre väčšinu servisov je výhodnejšie riešenie s využitím informácií tretích strán so sporadickým spoplatneným využitím dát výrobcov podľa potreby pri konkrétnej oprave.

3

TEORETICKÝ ROZBOR DOSTUPNÝCH DIAGNOSTICKÝCH PRÍSTROJOV

V tejto kapitole sú rozobraté dostupné diagnostické zariadenia a prístroje určené pre sériovú a paralelnú diagnostiku. V súčasnosti existuje na trhu množstvo výrobcov zariadení ako pre sériovú, tak aj paralelnú diagnostiku. U sériovej diagnostiky sú známe výrobky, ktoré sú síce predstavené ako výrobky nových firiem, no sú založené na spoločnej softvérovej a hardvérovej platforme spoločnosti Delphi. Uvedené sú preto najčastejšie používané zariadenia samotných vývojárov a výrobcov daného prevedenia.

Pre paralelnú diagnostiku je uvedených niekoľko štandardných ručných a stolových osciloskopov, ktoré ale pre svoje obmedzenia sú vhodné len pre niektoré druhy meraní. Ďaleko väčší dôraz je kladený na dostupné osciloskopy vo forme periférnych zariadení pripojených k PC, vďaka čomu sú značne rozšírené možnosti ďalšej analýzy nameraných dát.

3.1 Zariadenia pre sériovú diagnostiku

Obecne každý výrobca diagnostického zariadenia určeného pre sériovú diagnostiku tvrdí, že práve jeho zariadenie je schopné svojimi funkciami pokryť všetky alebo väčšinu značiek vozidiel v dostatočnom rozsahu. Praktické skúsenosti však poukazujú na veľké rozdiely v reálnych schopnostiach jednotlivých zariadení. Niektorí výrobcovia sa naopak špecializujú na konkrétne koncerny výrobcov vozidiel v snahe ponúknuť ďalšie diagnostické funkcie. Ide najmä o základné nastavenia konkrétnych komponentov či snímačov alebo funkcie programovania prístupových kľúčov. Otázne je, akým spôsobom výrobcovia diagnostických zariadení získavajú dáta potrebné na vývoj práve svojho produktu. Z praxe je bohužiaľ zrejmé, že nie vždy sú funkcie dostupné v obslužnom softvéri skutočne použiteľné, či dokonca môžu spôsobiť poškodenie softvéru opravovaného vozidla. Vzhľadom na veľký dopyt po multi-značkových diagnostických zariadeniach sa stala bežnou možnosť zakúpenia klonu značkovej diagnostiky spolu s nelegálnym softvérom. Vďaka týmto výrobkom sa trh sprístupnil opäť širšej skupine autoservisov snažiacich sa o často neodborné opravy.

Vzhľadom na ceny a životnosť zariadení je výhodná kúpa adaptéru pripojiteľného k vlastnému PC prostredníctvom USB alebo najčastejšie bluetooth rozhrania. Pri tvorbe cenovej ponuky je taktiež potrebné brať do úvahy poplatky za softvérové licencie. Nie každý výrobca bezodkladne vyžaduje hradiť ročné poplatky za nájom softvérovej licencie. Bez povinnosti platby však zaniká možnosť pravidelných aktualizácií spolu s technickou podporou týkajúcou sa predovšetkým nových modelov vozidiel.

Medzi najznámejšie a najbežnejšie dostupné zariadenia patria tie od spoločností Bosch, Delphi, Texa, Carsoft, Launch, AVL alebo českej DevCom. Niektorí z týchto

výrobcom ponúkajú aj stand-alone riešenia (Obr. 2 vľavo). Výhodou je bezpochyby komfortná obsluha, nevýhodou uzavretá platforma, kde pri fyzickom poškodení je nevyhnutná kúpa nového zariadenia. Práve dobrá portabilita zariadenia sama o sebe zvyšuje riziko poškodenia.

3.1.1 Stand-alone zariadenia pre sériovú diagnostiku

Existuje niekoľko najčastejšie používaných a dostupných zariadení vhodných pre diagnostiku súčasných vozidiel s cenami platnými k 25.3.2018:

Launch X431 Pro3s(Obr. 7) [3]

- multiznačková diagnostika
- prevedenie v podobe zapúzdreného tabletu s vlastným softvérom
- nadobúdacia cena 1695 GBP bez DPH
- pravidelný ročný poplatok za aktualizácie 450 GBP bez DPH, nepovinný
- nevýhodou je kapacitný typ dotykového displeja citlivý na nečistoty

DevCom MUX TSPro Europe [4]

- multiznačková diagnostika pre európske vozidlá
- český výrobok, plne vlastné prevedenie
- nadobúdacia cena 59900 Kč bez DPH
- pravidelný poplatok za aktualizácie neuvedený, nepovinný
- robustné dielenské prevedenie
- možnosť rozšírenia o zásuvný modul 4- kanálový osciloskop

Bosch KTS 200(Obr. 2) [1]

- multiznačková diagnostika
- plne vlastné prevedenie
- nadobúdacia cena 48610 Kč bez DPH
- pravidelný ročný poplatok za nájom licencie 12600 Kč bez DPH, povinný
- robustné dielenské prevedenie

Každý z uvedených výrobcov ponúka k svojmu produktu 1 rok aktualizácií zahrnutý v nadobúdacej cene. Spoločnou nevýhodou je obmedzená životnosť vyplývajúca z fixného hardvérového prevedenia, ktoré z dlhodobého hľadiska nemusí vyhovovať novým komunikačným protokolom. V praxi tieto zariadenia až na prvé uvedené nie sú bežné predovšetkým pre ich obmedzené uplatnenie a vysokú nadobúdaciu cenu.



Obr. 7 - Diagnostické zariadenie Launch X431 Pro3s typu stand-alone [3]

3.1.2 Zariadenia pre sériovú diagnostiku vo forme PC periférií

Z rady zariadení dostupných vo forme adaptéra pre použitie s PC sú najčastejšie používané nasledujúce zariadenia s cenami platnými k 25.3.2018:

Bosch KTS 540(Obr. 2) [1]

- multiznačková diagnostika
- USB alebo bluetooth pripojenie, dosah až 100m
- integrovaný 1-kanálový multimeter
- nadobúdacia cena 55930 Kč bez DPH
- pravidelný ročný poplatok 12300 Kč bez DPH, povinný
- za ďalšie poplatky možný prístup k databáze schém zapojenia, online diagnostickej podpore alebo systému asistovaného vyhľadávania závad

Delphi DS150E [5]

- multiznačková diagnostika
- USB alebo bluetooth pripojenie
- disponuje funkciou dátového rekordéra, bez pripojenia k PC
- nadobúdacia cena 34500 Kč bez DPH + softvér 16490 Kč bez DPH
- pravidelný ročný poplatok 16490 Kč bez DPH, nepovinný
- existujú deriváty od spoločností AutoCom a Wurth
- veľmi často dostupná nespoľahlivá kópia s nelegálnym softvérom za zlomkovú cenu
- zariadenie obľúbené pre jeho priaznivú cenu a možnosť prevádzky aj bez pravidelných aktualizácií a nájmu softvérovej licencie
- v prevedení od spoločnosti Wurth dostupné aj technické dáta zahrnuté v cene

SUPERVAG Comfort VW [5] (Obr. 8)

- špecializované na vozidlá koncernu VW, ostatné s obmedzenými funkciami
- USB alebo za príplatok bluetooth prevedenie pripojenia
- nadobúdacia cena 22000 Kč bez DPH (USB), 26000 Kč bez DPH (bluetooth)
- pravidelný ročný poplatok za nájom licencie 4000 Kč bez DPH pri pravidelnej ročnej platbe alebo 10000 Kč bez DPH pri nepravidelnej platbe
- adaptér obľúbený pre množstvo spracovaných komfortných funkcií nastavovania parametrov jediným kliknutím
- možnosť rozšírenia funkcií zakúpeného adaptéru príplatkom za ďalšie softvéry rozširujúce funkcie o programovanie softvérov riadiacich jednotiek, programovanie nových prístupových kľúčov, chiptuning a podobne



Obr. 8 - Okno oslužného softvéru diagnostického zariadenia SUPERVAG Comfort VW

3.1.3 Dátové rekordéry

Ďalšou možnosťou diagnostiky predovšetkým sporadických závad je použitie dátového rekordéru. Jeho hlavnou výhodou sú veľmi kompaktné rozmery a možnosť dlhodobého sledovania zvolených nameraných hodnôt a vývoja pamäte závad počas jazdy priamo u zákazníka. Nevýhodou je výrazne obmedzená vzorkovacia frekvencia, ktorá zhoršuje relevanciu dát z hľadiska sporadických závad. Zlepšuje sa naopak pravdepodobnosť odhalenia závad podmienených špecifickým jazdným štýlom, ktoré sa pri testovacej jazde nemusia prejaviť. Obsluha tohto adaptéra spočíva vo zvolení požadovaných sledovaných hodnôt a zasunutí rekordéra do diagnostickej zásuvky. Následne v prípade výskytu závady je nutné odpojenie od diagnostickej zásuvky, aby nedošlo k prepísaniu získaných dát dátami novými.

Problém predstavuje kompatibilita rekordéra s konkrétnym vozidlom, preto sa tieto adaptéry prestávajú používať a ich dostupnosť na trhu klesá. V súčasnosti je na trhu dostupných niekoľko výrobkov, pre príklad:

Freemetics Vehicle Data Logger V4 [7]

- multiznačkový rekordér, vyvinutý na platforme Arduino
- kompatibilný so zbernicami CAN 500kbps/29bit, CAN 250Kbps/29bit, KWP2000 Fast, KWP2000 5Kbps
- záznam na SD kartu až do kapacity 32GB
- za príplatok 6 alebo 9-osí MEMS akcelerometer, Wi-Fi rozhranie, 5 alebo až 20Hz GPS prijímač, GSM/GPRS modul
- v základnej verzii pripojenie Micro-USB portom
- Open-source platforma umožňujúca vlastné programovanie
- neznáma vzorkovacia frekvencia
- možné problémy s pripravenosťou zariadenia na použitie
- nadobúdacia cena 29,90 USD (platná k 18.4.2018), bez ďalších poplatkov

Často je možné naraziť na množstvo výrobkov iných, často neznámych výrobcov, u ktorých nie je zaručená samotná funkčnosť. Pre dátové rekordéry platí, že zaznamenané dáta sú dostupné vo formáte csv, dáta je ich tak možné spracovať pomocou priloženého softvéru alebo pomocou tabuľkového procesora. Dátové rekordéry sa prestávajú používať z dôvodu ich nedostatočnej vzorkovacej frekvencie, ako aj nástupu paralelnej diagnostiky, ktorá umožňuje odhalenie a spätné overenie opravy aj čiastočne poškodených komponentov.

3.1.4 Čítačky pamäte závad

V súčasnosti už nepoužívanou skupinou sú jednoduché čítačky chybových kódov v podobe bluetooth adaptéra pripojeného k smartphone telefónu s použitím príslušnej aplikácie. Ich prostredníctvom je ďalej možné len veľmi obmedzené prehliadanie meraných hodnôt. Tieto čítačky sú spravidla veľmi nespoľahlivé, pričom popis chybových kódov často nezodpovedá popisu konkrétneho výrobcu vozidla.

Pri výbere vhodného prístroja vychádzame z očakávaného priebehu meraného signálu a jeho časových parametrov. Počet kanálov volíme ideálne čo najväčší, štandardne minimálne 4 kanály, čím vzniká možnosť merania veľkého množstva parametrov zároveň s kmitočtovým rozsahom do 10MHz.

3.2 Zariadenia pre paralelnú diagnostiku – osciloskopy

3.2.1 Štandardné digitálne osciloskopy

Sú najčastejšie používané v laboratórnych podmienkach, ich analógové alternatívy nie sú v dielenskej praxi často využívané pre ich rozmery a hmotnosť znemožňujúcu umiestnenie vo vozidle. Ani stolové prevedenie digitálnej verzie nezaznamenalo veľkú obľubu rovnako pre obmedzenú portabilitu nutnosť externého napájania, čím sa výrazne obmedzuje použitie pri meraní vo vozidle za jazdy. Praktickými sú preto malé ručné osciloskopy, u ktorých sa ale kompaktnosť prejavuje nepraktickou obsluhou, ako aj horšími parametrami. Ich prevedenie je štandardne iba 1 až 2-kanálové, preto postačujú na základné overenie funkcie jednoduchých prvkov.

Vhodný je dvojkanálový ručný osciloskop HANTEK DSO 1060 (Obr. 10) ktorý je predávaný ako osciloskop vhodný pre automobilovú diagnostiku s parametrami: [10]

- 2 vstupné kanály
- nastavenie časovej základne 5ns/div až 1000s/div
- napäťové rozlíšenie 10mV/div až 5V/div
- vstupný napäťový rozsah neuvedený
- šírka pásma 20MHz
- vzorkovacia frekvencia 250MSa/s
- vstupná impedancia 1MΩ

- maximálne vstupné napätie $\pm 50V$
- doba záznamu obmedzená na 1000 frames
- pripojenie k PC prostredníctvom USB
- rozlíšenie displeja 240x320 pixelov
- 6 hodín prevádzky na vstavanú Li-Ion batériu
- praktická kombinácia osciloskopu a multimetra v jednom zariadení
- odolné dielenské prevedenie
- možnosť kúpy originálneho príslušenstva pre meranie v automobiloch
- nadobúdacia cena 14701 Kč s DPH



Obr. 10 - Dvojkanálový ručný osciloskop HANTEK DSO1060 [11]



Obr. 9 - Ručný osciloskop DevCom TSProColor [4]

Výhody:

- kompaktné rozmery
- robustné dielenské prevedenie

Nevýhody:

- nízky počet kanálov
- výrazne obmedzené výkonové parametre
- žiadne alebo obmedzené možnosti záznamu a jeho prehliadania
- nízky počet vstupných kanálov
- nepraktická obsluha

Ponuka práve osciloskopov HANTEK predstavuje širokú škálu kompaktných ručných prístrojov v kombinácii s multimetrami, generátormi priebehov, spektrálnymi analyzátormi či frekvenčnými čítačmi, ich spoločnou nevýhodou však ostáva pomerne nepraktická obsluha, ako aj nízky počet vstupných kanálov. Uvedený ručný osciloskop je vhodný pre rýchle kontrolné meranie závad s jasným prejavom a pôvodom.

Spoločnosť DevCom spomínaná v kapitole týkajúcej sa sériovej diagnostiky ponúka zásuvné moduly, ktoré zariadenie rozšíria o vstupy a funkcie osciloskopu. Alternatívou je kúpa zariadenia so zásuvným modulom osciloskopu, no bez modulu sériovej diagnostiky. Ponúkaný je 4-kanálový osciloskop DevCom TSProColor (Obr. 9), ktorý podobne ako produkt spoločnosti HANTEK predstavuje veľmi robustné dielenské prevedenie, avšak je primárne ovládaný 5,7 palcovým dotykovým displejom.

Predajca, ako aj výrobca na webovej stránke uvádza veľmi stručné parametre: [4]

- český výrobca
- 2, 4 alebo 8 kanálov
- nastavenie časovej základne 10 μ s/div až 5s/div
- napäťové rozlíšenie 50mV/div až 100V/div
- vstupný napäťový rozsah $\pm$ 300V
- šírka pásma – neuvádza sa
- vzorkovacia frekvencia 20MSa/s
- vstupná impedancia 1M Ω
- maximálne vstupné napätie $\pm$ 300V
- nahrávanie záznamu signálu na pamäťovú kartu s následnou analýzou v PC
- možnosť kombinácie so sériovou diagnostikou za príplatok
- nadobúdacia cena 43439 Kč s DPH (4-kanálová verzia bez modulu sériovej diagnostiky)

Výhody:

- kompaktné a robustné prevedenie, navyše s možnosťou sériovej diagnostiky
- intuitívne dotykové ovládanie
- vysoký počet kanálov – až 8
- dlhodobý záznam na pamäťovú kartu
- možnosť použitia aj ako periférne zariadenie PC prostredníctvom USB
- nie sú potrebné žiadne ďalšie licenčné poplatky, avšak bez aktualizácie
- česká lokalizácia s technickou podporou

Nevýhody:

- nadobúdacia cena v kombinácii so sériovou diagnostikou
- neznáma šírka pásma
- uzavretá softvérová platforma

Uvedené zariadenie je výhodné z hľadiska kombinácie so sériovou diagnostikou, nadobúdacia cena tohto prevedenia však nie je známa. Zo znalosti ceny samostatného prevedenia diagnostiky a osciloskopu sa môže pohybovať na hranici 120 000 Kč s DPH. Výrobca navyše neuvádza typ dotykovej plochy, ktorá by v prípade kapacitného princípu funkcie nebola odolná nečistotám bežne sa vyskytujúcim v dielňach.

3.2.2 Osciloskopy ako periférie PC

Veľmi obľúbenými sa stali osciloskopy, respektíve signálové rekordéry ako periférie k štandardnému PC pripojiteľné prostredníctvom USB. To hlavne pre svoje kompaktné rozmery, často priaznivú cenu a praktickú obsluhu. Veľká kapacita diskového priestoru pripojeného PC umožňuje dlhú dobu záznamu aj pri vysokých vzorkovacích frekvenciách. Medzi najznámejších výrobcov týchto osciloskopov určených práve pre autodiagnostiku patria PicoScope, Hantek, Autoditex a český Texvik.

Každý výrobca ponúka niekoľko sád pozostávajúcich zo samotného osciloskopu s vybraným príslušenstvom potrebným k okamžitému použitiu v autoservisoch. V tejto kapitole preto sú rozobraté jednotlivé možnosti s porovnaním výkonových a cenových parametrov jednotlivých výrobcov v minimálne 4-kanálovom prevedení.

Príslušenstvom v štandardnej sade sú zvyčajne prúdové kliešte, meracie hroty, množstvo prepojovacieho vedenia a svoriek. Súčasťou každého osciloskopu je obslužný softvér, ktorého aktualizácie nie sú spoplatňované.

Prvým je osciloskop PicoScope 4425 anglickej spoločnosti Pico Technology (Obr. 11), ktorá spolupracuje priamo s výrobcami automobilov ako Iveco a Aston Martin na vývoji servisných zariadení priamo pre vyrábané vozidlá. Samotný osciloskop je pripojiteľný prostredníctvom USB a disponuje parametrami: [11]

- 4 kanály
- nastavenie časovej základne 100ns/div až 5000s/div
- napäťové rozlíšenie 10mV/div až 40V/div
- vstupný napäťový rozsah $\pm 200V$
- šírka pásma 20MHz (10MHz pri rozlíšení $\pm 50mV$)
- vzorkovacia frekvencia 400MS/s pre 1 kanál, 200MS/s pre 2 kanály, 100MS/s pre 4 kanály
- vstupná impedancia 1M Ω
- maximálne vstupné napätie $\pm 250V$
- česká lokalizácia obslužného softvéru
- nadobúdacia cena 1581 dolárov s DPH

Sada Standard v cene 3057 dolárov s DPH navyše obsahuje: [11]

- 1x prúdové kliešte 20/60A
- 1x prúdové kliešte 200/2000A
- 2x atenuátor 10:1
- 2x kapacitná vysokonapäťová sonda
- 4x tienené prepojovacie vedenie
- iné príslušenstvo ako meracie hroty, krokosvorky, USB kábel a podobne



Obr. 11 - PicoScope 4425 sada Standard (zvýraznené komponenty) [11]

Ďalším výrobcom je Bulharská spoločnosť Autoditex, ktorá ponúka cenovo orientované sady CarScope Plus s celkovo horšími, no na konkrétne merania jednotlivých snímačov a akčných členov postačujúcimi parametrami: [12]

- 4 kanály
- nastavenie časovej 1 μ s/div až 6min/div
- napäťové vstupy 0,2V/div až 20V/div
- vstupný napäťový rozsah ± 20 V
- šírka pásma 20MHz
- vzorkovacia frekvencia 25MS/s na každý kanál
- vstupná impedancia 1M Ω m
- maximálne vstupné napätie ± 200 V
- nutnosť napájania externým adaptérom alebo z palubnej siete vozidla
- nadobúdacia cena 395 EUR s DPH

Sada PLUS v cene 757 EUR s DPH navyše obsahuje:

- 1x prúdové kliešte 60A
- 1x prúdové kliešte 1000A
- 2x kapacitná vysokonapäťová sonda
- 1x indukčná sonda
- 1x indukčné kliešte
- 1x tlaková sonda absolútneho tlaku 0,8 až 3,5Bar a 0 až 5000Hz

Posledným vybraným je český výrobca Texvik bieloruského inžiniera Alexandra Kadnikova, ktorý vyrába úzko špecializované a veľmi populárne automobilové signálové rekordéry vo viacerých verziách. Ich hlavnou výhodou je možnosť okamžitého záznamu iba s nutnosťou nastavenia počtu použitých kanálov a zvolenej vzorkovacej frekvencie. Rada DS disponuje maximálnou špecifikáciou vhodnou pre meranie aj komunikačných zberníc: [4]

- 8 kanálov, 4x vstavaný atenuátor 10:1
- nastavenie časovej základne 2 μ s/div až 1s/div
- napäťové rozlíšenie 2mV/div až 10V/div
- vstupný napäťový rozsah ± 30 V až ± 300 V s použitím atenuátora
- šírka pásma neuvedená
- vzorkovacia frekvencia viac než 10MS/s na kanál
- vstupná impedancia 1M Ω m
- maximálne vstupné napätie neuvedené
- napájanie z USB portu PC, bez nutnosti externého napájania
- nadobúdacia cena 54305 Kč s DPH

Prevedenie DSR (60 137 Kč s DPH [4]) je navyše vybavené vymeniteľnými zásuvnými modulmi štyroch kanálov, ktoré je tak možné priamo zmeniť na meranie príslušnej veličiny. Dostupné sú moduly pre spracovanie signálov piezo snímačov, prevodníky frekvencie na napätie, adaptéry pre tlakovú sondu, atenuátory alebo kliešťové ampérmetre.



Obr. 12 - Texvik DSR [15]

Štandardná sada rady DS v cene 99703 Kč s DPH navyiac obsahuje: [13]

- 1x prúdové kliešte 60A
- 1x prúdové kliešte 600A
- 1x snímač tlaku 10bar
- 1x indukčný snímač Lx
- 1x kapacitný snímač Cx
- 1x konvertor frekvencie na napätie
- 1x snímač tlaku P4000 -1 až +3bar
- 1x adaptér zapalovania DIS
- iné príslušenstvo ako meracie hroty, krokosvorky, USB kábel a podobne

Výhodou osciloskopov Texvik je rýchla komunikácia s výrobcom a promptné vybavenie prípadných servisných úkonov.

Všetci výrobcovia vo svojich softvéroch dodávajú množstvo prednastavených meraní štandardných snímačov používaných vo vozidlách. Niektoré parametre ako odolnosť voči presluchom medzi kanálmi neuvádzajú a je ich tak možné zistiť iba praktickou prevádzkou. Uvedené osciloskopy disponujú navzájom porovnateľnými parametrami spoločnými výhodami aj nevýhodami oproti štandardnému riešeniu.

Medzi hlavné výhody radíme:

- vysoký počet kanálov u väčšiny prevedení
- množstvo špecializovaného príslušenstva
- jednoduchá obsluha vďaka špecializovanému softvéru
- robustné a kompaktné prevedenie výhodné pri umiestnení vo vozidle
- teoreticky nekonečný záznam pri ľubovoľnej vzorkovacej frekvencii
- často napájanie iba z USB
- možnosť programovania vlastných pluginov pre spracovanie merania
- možnosť výroby vlastných sond s vložením vzorcov pre prevod signálu

Nevýhody:

- cena často porovnateľná so štandardným stolovým osciloskopom
- nutnosť pripojenia k PC
- riziko straty záznamu alebo časti záznamu pri výpadku komunikácie s PC
- nižší, avšak postačujúci výkon v porovnaní so stolovými osciloskopmi
- často bez českej alebo slovenskej lokalizácie

4 ZHODNOTENIE A VÝBER VHODNÝCH DIAGNOSTICKÝCH PRÍSTROJOV

Z diagnostických zariadení uvedených v predchádzajúcej kapitole je uvedených niekoľko z nich určených pre sériovú a paralelnú diagnostiku s porovnaním ich hlavných vlastností. Zo sériových diagnostických zariadení bolo vybrané diagnostické zariadenie používané vo forme periférie PC. Podobne u výberu osciloskopu bol vybraný osciloskop dostupný ako periférne zariadenie PC. Toto riešenie je výhodné z hľadiska kompaktného prevedenia v oboch prípadoch, ako aj z pohľadu ďalšieho využitia PC pre získavanie technickej dokumentácie a jej použitia pri diagnostike.

4.1 Výber zariadenia pre sériovú diagnostiku

U väčšiny uvedených zariadení pre sériovú diagnostiku je nutný pravidelný ročný poplatok za nájom softvérovej licencie. Uvedené diagnostické zariadenia sú najbežnejšie používané a predstavujú pre užívateľa v súčasnosti vzájomne najlepší pomer cena-výkon vzhľadom na obsadenosť značiek vozidiel vo vozovom parku Českej republiky. Zo spomenutých zariadení sa tešia veľkej obľube výrobky spoločnosti Bosch a Delphi. Druhá spomenutá predovšetkým z dôvodu možnosti prevádzky bez nutnosti pravidelného poplatku za nájom softvérovej licencie. Je ale nutné brať do úvahy fakt, že práve spoločnosť Bosch dodáva svoje riadiace jednotky pre väčšinu vyrábaných vozidiel. Tým je do určitej miery zabezpečená vysoká kompatibilita s veľkou časťou značiek vozidiel. V súčasnosti najvýhodnejšie zariadenie preto je Bosch KTS 540 pre svoje profesionálne prevedenie a záruku spoľahlivej funkčnosti od spoločnosti s dlhoročnou tradíciou v oblasti. Druhým vhodným zariadením s nižšími finančnými nárokmi na prevádzku je sériová diagnostika Delphi DS150. Táto spoločnosť podobne dodáva riadiace systémy do niektorých vozidiel, kde poskytuje naopak širšie možnosti využitia, než zariadenia spoločnosti Bosch. Obidve uvedené zariadenia predstavujú najvýhodnejšie riešenie pri realizácii sériovej diagnostiky, voľba preto záleží od dostupného finančného kapitálu. Z praxe je však výhodná kombinácia oboch uvedených zariadení, čím je v dostatočnej miere pokrytá väčšina značiek opravovaných vozidiel.

Možnosť použitia stand-alone zariadenia predstavuje hardvérové obmedzenie kvôli jeho slabej celkovej odolnosti a nemožnosti hardvérového vylepšovania. Toto riešenie sa preto odporúča pre špecifické aplikácie, ako napríklad pre základnú vstupnú diagnostiku vykonávanú prijímacím technikom pri prijíme vozidla do opravy.

Ostatné prevedenia zariadení pre sériovú diagnostiku vo forme čítačky pamäte závad alebo dátového rekordéra nie sú v praxi využívané pre ich veľmi obmedzené schopnosti.

4.2 Výber zariadenia pre paralelnú diagnostiku

Vzhľadom na charakter sporadických závad automobilov, u ktorých často nie je možné závalu identifikovať aj mimo doby, kedy má evidentný vplyv na prevádzku automobilu, je nevyhnutná možnosť neustáleho záznamu meraných veličín. Okrem doby záznamu je pre rýchlu a presnú identifikáciu vadného komponentu nevyhnutné zaznamenávať čo najväčšie množstvo signálov, typicky 4 až 8. To za predpokladu, že závalu nie je možné lokalizovať pomocou vstupnej sériovej diagnostiky a zmenšiť tak sledovanú oblasť. Zároveň je často nutné meranie realizovať počas jazdy vozidla v režime, kedy je pravdepodobný výskyt hľadanej závady. Z uvedených dôvodov nie je praktické použitie štandardných stolových osciloskopov, ani ručných osciloskopov s nízkym počtom vstupných kanálov. V prípade vysokého počtu vstupných kanálov je výhodné merané signály analyzovať prostredníctvom PC, vrátane ďalšieho vlastného spracovania meraných dát. Tieto podmienky spĺňa česká spoločnosť DevCom s prístrojom TSPColor. Dôležitou je však možnosť namerané signály porovnávať s inými, čo predstavuje problém vzhľadom na uzavretú softvérovú platformu výrobcu. Jediným z pomerne lacných riešení je výrobca Autoditex, ktorý ponúka slovenskú lokalizáciu obslužného softvéru, avšak nepodporuje vkladanie vlastných pluginov a teda ďalšie spracovanie signálov. Pre základnú diagnostiku v bežnom autoservise sa ako najvýhodnejšie riešenie javí osciloskop spoločnosti Autoditex, ktorý ponúka prehľadný, ľahko pochopiteľný obslužný softvér vyhovujúci pre základné meranie výstupných signálov všetkých snímačov.

Výrazne nákladnejšie, no cenovo navzájom porovnateľné a zároveň perspektívnejšie riešenia s českou lokalizáciou predstavujú spoločnosti Pico Technology a Texvik. Obidve spoločnosti k svojim osciloskopom dodávajú technickú dokumentáciu pre tvorbu vlastných pluginov (Texvik v ruskom a Pico Technology v anglickom jazyku), vďaka čomu sa výrazne zvyšuje ich užitočná hodnota. Osciloskop Texvik sa navyše teší veľkej obľube medzi českými automechanikmi, vďaka čomu vznikla veľká komunita používateľov združujúcich sa na odborných portáloch. Najvýhodnejšie riešenie predstavuje osciloskop od spoločnosti Texvik, ktorý svojimi parametrami, softvérovým vybavením a technickou podporou má dlhodobú perspektívu používania. Dá sa tak predpokladať veľmi dobrá návratnosť vyššej počiatočnej investície bez nutnosti ďalších investícií. Navyše vzhľadom na možnosť pripojenia vlastných snímačov fyzikálnych veličín s naprogramovaním vlastných výpočtov meranej hodnoty napätia priamo na meranú veličinu sa dá očakávať šetrenie nákladov na kúpu originálneho príslušenstva.

5 POPIS POUŽÍVANÝCH DIAGNOSTICKÝCH METÓD A TYPICKÉ ZÁVADY AUTOMOBILŮ

Táto kapitola sa zaoberá štandardnou sériovou diagnostikou s využitím všetkých jej možností doplnenou o bežné použitie paralelnej diagnostiky. Ideálny priebeh opravy vozidla je všeobecne možné popísať v niekoľkých bodoch:

1. Príchod zákazníka do autoservisu, subjektívny popis závady z pohľadu užívateľa.
2. V závislosti od závažnosti poruchy dohodnutie termínu opravy alebo okamžité prevzatie vozidla do opravy, upresnenie popisu závady prijímacím technikom.
3. Prevzatie vozidla do opravy automechanikom.
4. Použitie sériovej diagnostiky pre zistenie závady, simulácia podmienok výskytu závady.
5. Ak si to závada vyžaduje, použitie paralelnej diagnostiky, simulácia podmienok výskytu závady.
6. Fyzická kontrola vadného dielu.
7. Výmena vadného dielu, porovnanie nameraných hodnôt alebo priebehov s vadným komponentom a skúšobná jazda.
8. Predanie vozidla zákazníkovi po oprave.

Predovšetkým 4. bod, ktorému sa táto diplomová práca venuje, môže spôsobiť zvrát v priebehu opravy. Bežne viac než 50 % závad nie je možné spoľahlivo diagnostikovať vyčítaním pamäte závad opravovaného systému vozidla. Pamäť závad nemusí obsahovať žiadne chybové hlásenie aj napriek tomu, že dopad závady na prevádzku vozidla je evidentný, prípadne obsahuje chybové hlásenia iba súvisiace so skutočnou závadou. Vtedy je vhodná analýza záznamu zvoleného bloku hodnôt počas prejavu závady a posúdenie možných príčin z priebehu meraných hodnôt. Ak ani v takom priebehu nie je možné zistiť príčinu výskytu závady alebo aspoň oblasť, v ktorej sa závada vyskytuje, je nutné použitie paralelnej diagnostiky.

5.1 Diagnostika spalovacích motorov

Diagnostika závad spalovacích motorov patrí medzi najčastejšie riešené oblasti v autoopravárstve. Ak sa v pamäti závad vyskytuje chybové hlásenie relevantné vzhľadom k popisu závady, je možné okamžite pokračovať fyzickou kontrolou predpokladane vadného dielu. Často sa však stáva, že predmetný diel je umiestnený v neprístupnom mieste a bolo by neprimerane časovo náročné daný komponent demontovať pre fyzickú kontrolu, ak nie je istá vada komponentu. Je preto výhodné pokračovať diagnostikou daného komponentu prostredníctvom paralelnej diagnostiky.

5.1.1 Diagnostika závad prostřednictvím sériové diagnostiky

Funkciou každého zariadenia pre sériovú diagnostiku je zobrazovanie niekoľkých hodnôt meraných a vyhodnocovaných riadiacou jednotkou motora do grafov.

Typicky sa pri závadách, kedy je motor schopný aspoň obmedzenej prevádzky je potrebné zamerať na niekoľko meraných veličín, z ktorých je možné posúdiť funkciu hneď niekoľkých komponentov motora:

- otáčky motora a poloha plynového pedálu pre zaznamenanie režimu jazdy
- tlak paliva
- množstvo nasávaného vzduchu
- tlak v sacom potrubí
- poloha ventilu recirkulácie spalín

Dôležitým faktorom je frekvencia obnovovania meraných hodnôt, ktorá sa znižuje s počtom zvolených parametrov a je v rozmedzí od 2 Hz pre jednu meranú hodnotu po 0,5 Hz pre 8 zvolených hodnôt. Tomu je nutné podriaďovať skúšobnú jazdu tak, aby bolo možné zachytiť prechodové režimy jazdy. Nesmie dochádzať k prudkým zmenám záťaže motora, aby nízka obnovovacia frekvencia dovolila zachytiť zmeny meraných hodnôt. V závislosti od softvéru riadiacej jednotky je možné k jednotlivým meraným hodnotám získať aj takzvané požadované hodnoty. Hodnota je v softvéri riadiacej jednotky vypočítaná na základe simulácie matematickým modelom. Tým sa spresňuje diagnostická funkcia riadiacej jednotky, dochádza k sledovaniu výstupných hodnôt snímačov vo vytvorenom tolerančnom pásme. Jeho veľkosť nie je známa, preto nie je nezaručená ani jej bezchybná funkcia.

5.1.1.1 Sériová diagnostika závady palivového systému spal'ovacieho motora navrhnutým výberom meraných hodnôt

Uvedená metodika výberom meraných hodnôt bola aplikovaná pri diagnostike závady vozidla Opel Astra z roku 2016 vybaveného preplňovaným vznetrovým motorom 1,7 CDTI s výkonom 81 kW a nájazdom 128 tisíc kilometrov. U vozidla boli zaznamenané výpadky výkonu v režime veľkej záťaže. Závada zároveň nerozsvietila žiadnu kontrolku na prístrojovom paneli. Vozidlo je vybavené riadiacou jednotkou motora typu Bosch EDC17. je preto výhodné použitie diagnostického zariadenia od rovnakej spoločnosti Bosch KTS 540, čím je zabezpečená kompatibilita a čo najširšie možnosti diagnostiky, zároveň s vysokou frekvenciou obnovovania meraných hodnôt. V prvom kroku preto bude vyčítaná pamäť závad riadiacej jednotky motora, od čoho sa bude odvíjať ďalší postup.

Vyčítanie pamäte závad diagnostikovaného vozidla

U moderných vozidiel je veľký predpoklad, že pamäť závad motora bude obsahovať relevantné chybové hlásenie vedúce k vyriešeniu závady. Po vyčítaní pamäte závad

sériovou diagnostikou Bosch KTS 540 ale nebolo zistené žiadne chybové hlásenie, bolo preto nutné pokračovať testovacou jazdou so záznamom vhodne zvolených hodnôt.

Záznam meraných hodnôt sériovej diagnostiky

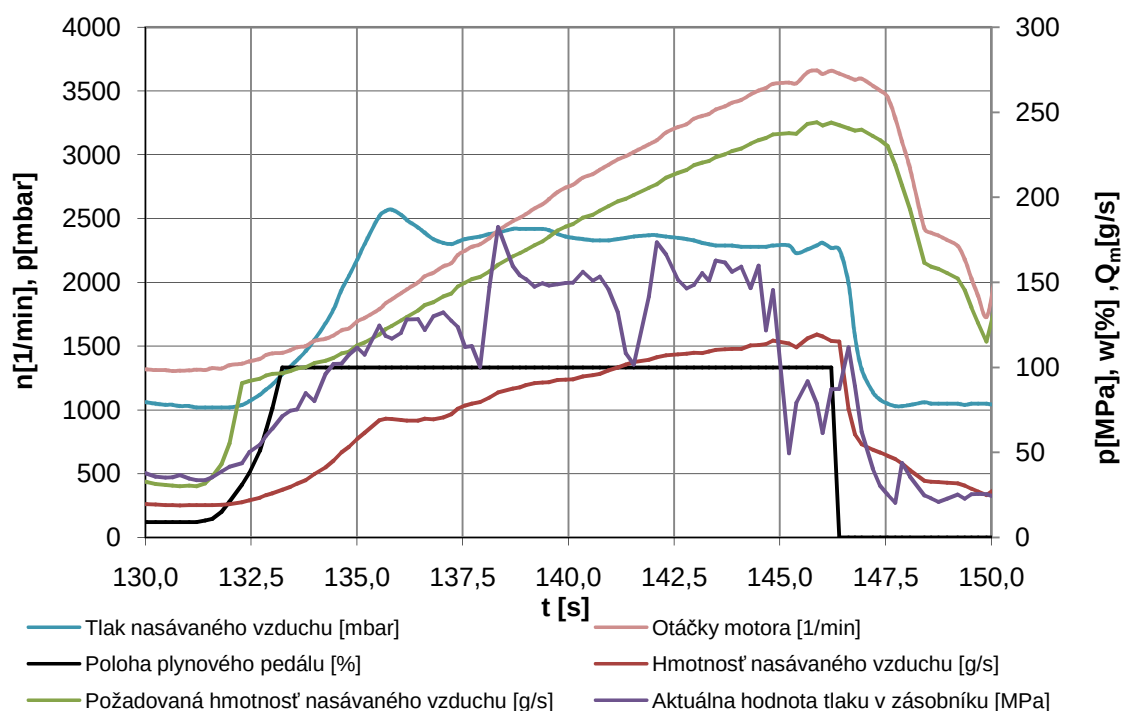
Použitie diagnostické zariadenie Bosch KTS 540 poskytuje široké možnosti zobrazenia meraných hodnôt pri diagnostike konkrétneho vozidla, vrátane zobrazenia požadovaných hodnôt meraných veličín pre riadenie spaľovania. Pre záznam bolo preto vybraných niekoľko meraných hodnôt súvisiacich s reguláciou výkonu motora:

- tlak paliva
- tlak nasávaného vzduchu
- hmotnostný prietok nasávaného vzduchu
- požadovaný hmotnostný prietok nasávaného vzduchu
- poloha plynového pedálu
- otáčky motora

Vzhľadom na režim, kedy sa predmetná záhada prejavovala bola pre meranie zvolená jazda vozidlo do mierneho stúpania pre zabezpečenie zvýšenej záťaže motora.

Vyhodnotenie meraných hodnôt

Po 130 sekundách jazdy došlo k zaznamenaniu závady. V grafe na Obr. 13 je možné sledovať priebeh nameraných hodnôt diagnostickým zariadením Bosch KTS 540 pri vysokej záťaži motora počas jazdy od približne 1300 do 3600 ot·min⁻¹, čo zodpovedá bežne používanému spektru. Použitie daného diagnostického zariadenia malo za následok dosiahnutie pomerne vysokej obnovovacej frekvencie meraných hodnôt, až 5 Hz pri 6 meraných hodnotách. Jednotky meraných hodnôt sú volené automaticky tak, aby ich bolo možné zobrazit' v grafe bez možnosti zásahu obsluhy. Plniaci tlak, respektíve tlak nasávaného vzduchu dosahuje maximum 2,4 bar už pri 1800 ot·min⁻¹ a nepreukazuje žiadne výrazné poklesy počas celej doby trvania záťaže. Rovnako signál merača hmotnosti vzduchu nevykazuje náhle poklesy a rastie, čo zodpovedá narastajúcim nárokom na objem nasávaného vzduchu. Jeho signál nie je v súlade s požadovanou hodnotou a reálny prietok dosahuje približne polovičnú veľkosť požadovanej hodnoty. Tento rozdiel môže byť spôsobený zanesením merača hmotnosti vzduchu alebo zanesením vzduchového filtra. Veľký rozdiel by ale mal spôsobiť zapísanie chybového hlásenia do pamäte závad riadiacej jednotky. Veličinou vykazujúcou veľmi výrazné kolísanie je aktuálna hodnota tlaku paliva. Tá preukazuje stabilný priebeh iba do približne 2000 ot·min⁻¹ a ďalej prudko kolíše, zároveň je možné pri jazde pozorovať výrazné poklesy až výpadky výkonu motora.



Obr. 13 - Aktuálne hodnoty veličín pri výpadku výkonu motora vozidla Opel Astra

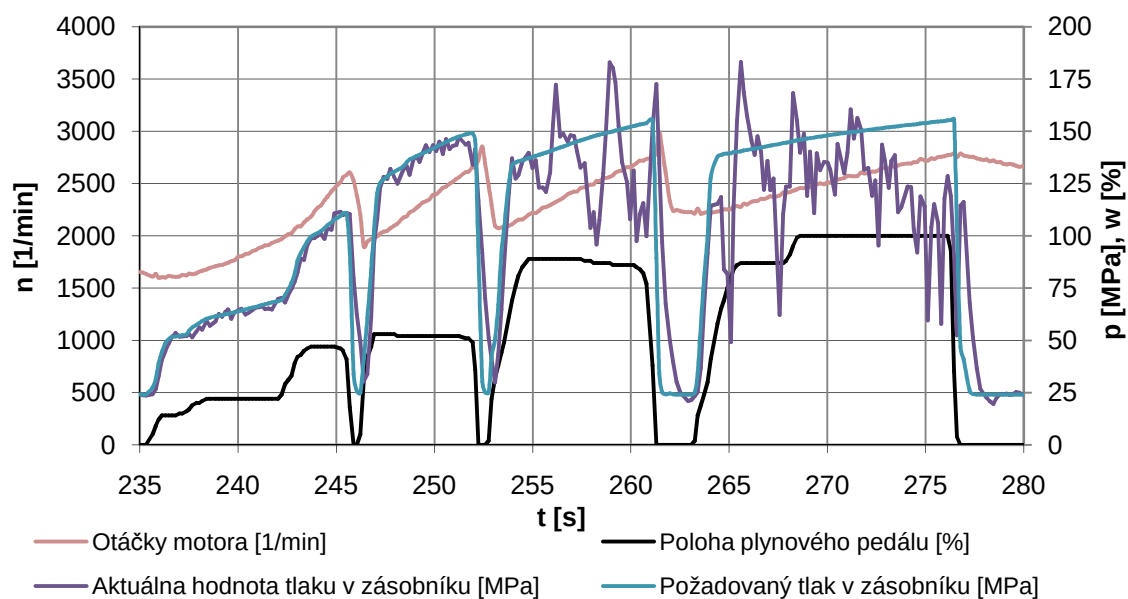
Opätovná voľba meraných hodnôt

Po zistení, že dochádza k výraznému kolísaniu tlaku paliva bolo nutné opätovne zvoliť výber meraných hodnôt so zameraním sa na stabilitu tlaku paliva. Zmenšením množstva meraných hodnôt dôjde k navýšeniu frekvencie obnovovania zobrazovaných hodnôt, čím sa zlepši výpočtová hodnota nameraných grafov.

- aktuálny tlak paliva
- požadovaná hodnota tlaku paliva
- otáčky motora
- poloha plynového pedálu

Vyhodnotenie opätovne zvolených meraných hodnôt

Zmenšením počtu meraných hodnôt došlo k navýšeniu obnovovacej frekvencie meraných hodnôt na 6 Hz. V grafe na Obr. 14 je možné sledovať stabilitu tlaku paliva pri postupnom zvyšovaní záťaže motora. Pri akcelerácii s polohou plynového pedálu do 50 % aktuálny tlak paliva presne kopíruje požadovanú hodnotu. Pri zvyšovaní záťaže začína namiesto plynulého zvyšovania tlaku paliva dochádzať k jeho prudkému kolísaniu a v niektorých momentoch (v čase $t=275$ s) dosahuje iba 37 % požadovanej hodnoty. Ani takýto razantný pokles tlaku paliva sprevádzaný prudkými výpadkami výkonu však nespôsobuje rozsvietenie kontrolky motora sprevádzané zapísaním chybového hlásenia do pamäte závad.



Obr. 14 - Aktuálne hodnoty tlaku paliva common rail vozidla Opel Astra pri výpadku výkonu

Dedukcia závady z meraných hodnôt a oprava

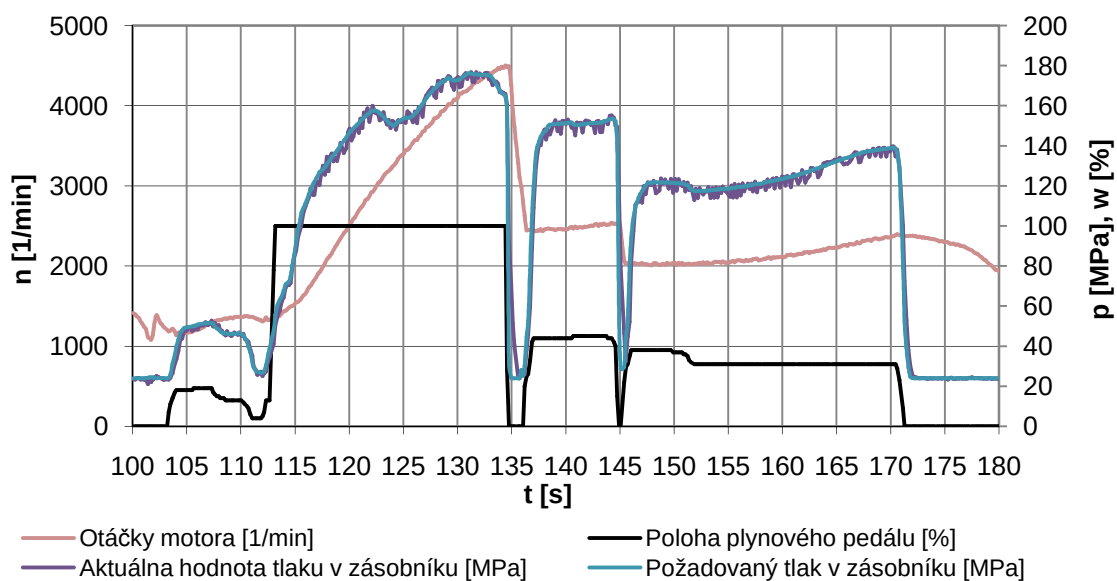
Na stabilitu tlaku paliva má, podľa konštrukcie vozidla, vplyv pomocné podávacie čerpadlo paliva, palivový filter, vysokotlaké čerpadlo a stav vstrekovacích trysiek. Podľa schémy zapojenia vozidlo nie je vybavené pomocným podávacím čerpadlom, palivo je nasávané z palivovej nádrže cez palivový filter vysokotlakým čerpadlom, ktorého súčasťou je mechanické lamelové podávacie čerpadlo. Základnou kontrolou palivového filtra bolo zistené jeho silné znečistený hrubými nečistotami pochádzajúcimi z tankovaného paliva. Došlo preto k oprave výmenou palivového filtra.



Obr. 15 - Nový a starý palivový filter vozidla Opel Astra po 40 tisíc kilometroch od výmeny

Overenie opravy opätovným meraním

Po výmene palivového filtra znovu prebehla testovacia jazda so zameraním na stabilitu tlaku paliva (Obr. 16). Aktuálna hodnota tlaku paliva presne kopíruje požadovanú hodnotu bez ohľadu na záťaž motora a výkon motora neklesá.



Obr. 16 - Priebeh tlaku paliva po výmene palivového filtra vozidla Opel Astra

Zhodnotenie diagnostiky a oprava závady

Závada bola spôsobená nadmerným zanesením palivového filtra už po 40 tisíc kilometroch od jeho pravidelnej výmeny, pričom výrobca vozidla v servisnom pláne predpisuje pravidelnú výmenu po 60 tisíc kilometroch. Dôležitým zistením je, že aj napriek evidentným výpadkom v dodávke paliva do palivového čerpadla a poklesom jeho tlaku nedošlo k zapísaniu žiadneho chybového hlásenia, ktoré by mohlo viesť k rýchlemu vyriešeniu závady. Uvedený prípad, kedy nedochádza k zapísaniu chybového hlásenia aj pri výraznom prejave závady s evidentnými nedostatkami v priebehu meraných hodnôt predstavuje z praxe približne 50 % z celkového počtu opravovaných vozidiel.

5.1.2 Paralelná diagnostika

Sériová diagnostika nie je vždy postačujúcim prostriedkom na presné určenie závady. Ďalším dôvodom na použitie paralelnej diagnostiky je vysoká cena či náročná výmena komponentov, kedy je nutné overenie závady komponentu označeného sériovou diagnostikou. Ďalšou možnosťou sú vozidlá bez chybového hlásenia v pamäti závad riadiacich jednotiek so závadou s evidentným vplyvom na používanie vozidla a zároveň nevykazujúce vady v priebehoch hodnôt zobrazovaných sériovou diagnostikou. Rovnako dochádza k závadám nových komponentov, ktorých výmena môže bez overenia funkcie znamenať zhoršenie stavu vozidla alebo zvýšené finančné náklady na opätovnú výmenu.

Paralelnú diagnostiku spaľovacích motorov je možné rozdeliť do niekoľkých skupín:

- overenie predpokladanej chyby vadného komponentu bez demontáže
- overenie správnej funkcie nového komponentu
- hľadanie reálne vadného komponentu s podozrením na konkrétnu oblasť
- diagnostika bez podozrenia na konkrétny vadný komponent

Medzi základné možnosti paralelnej diagnostiky patrí kontrola funkcie akčných členov, akými sú elektrické motory, elektromagnetické ventily, piezoelektrické elementy, topné telesá a spínacie prvky. Kľúčovým je meranie prúdu pretekajúceho akčným členom, ktorý poukazuje na uzatvorenie elektrického obvodu, zatiaľ čo meranie priebehu ovládacieho napätia akčného člena nemusí zaznamenať nedostatky.

5.1.2.1 Paralelná diagnostika akčných členov – elektromotora čerpadla chladiacej kvapaliny

Paralelná diagnostika v bežnej forme bola aplikovaná pri diagnostike závady komutátorového elektromotora čerpadla chladiacej kvapaliny vozidla VW Transporter z roku 2013. Čerpadlo chladiacej kvapaliny je súčasťou prídavného palivového topenia, no je ovládané riadiacou jednotkou motora. Závadou bola krátko po štarte pri vonkajšej teplote nižšej než 10 °C svietiaci kontrolka poruchy motora sprevádzaná nefunkčným prídavným palivovým topením. V prvom kroku preto bolo nutné použitie sériovej diagnostiky pre zúženie oblasti hľadania závady.

Vyčítanie pamäte závad riadiacej jednotky motora sériovou diagnostikou

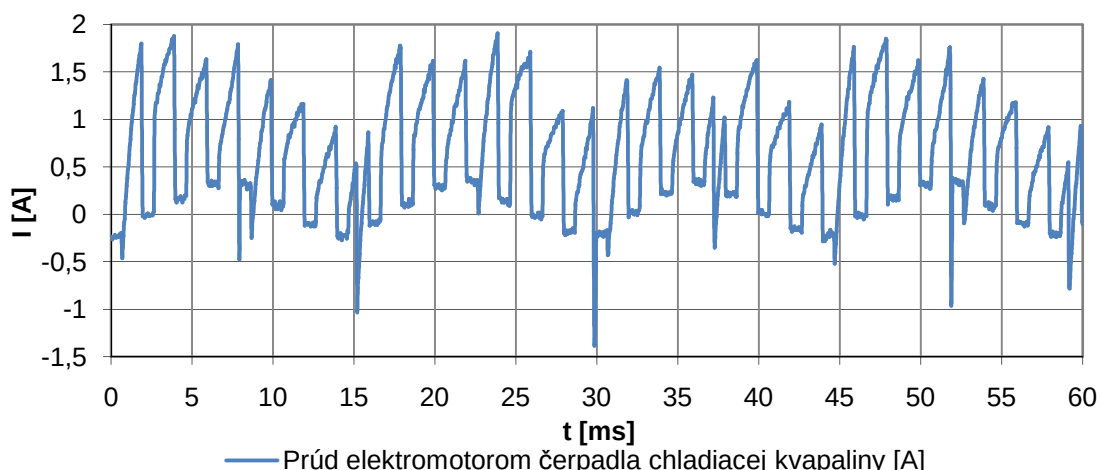
Kedže je vozidlo vybavené riadiacou jednotkou motora Bosch EDC16, bolo vybrané zariadenie Bosch KTS 540 pre sériovú diagnostiku. Následne bola zistená závada P261A00 – obehové čerpadlo chladiacej kvapaliny 2 – prerušenie. To napriek tomu, že čerpadlo nevykazovalo zdanlivo pri teste akčných členov žiadnu závalu a bolo plne funkčné.

Realizácia paralelnej diagnostiky meraním prúdu elektromotora

Bolo preto nutné pristúpiť k meraniu priebehu prúdu pretekajúceho elektromotorom čerpadla pomocou osciloskopu Texvik DS. S použitím prúdových klieští CA60 [4] pri vzorkovacej frekvencii 25 kHz, rozlíšení 0,5 A/div a nastavení časovej základne 5ms/div.

Vyhodnotenie meraného priebehu prúdu

V grafe na Obr. 17 je možné pozorovať pravidelné výpadky prúdu v jednej polohe komutátora v čase $t=7$ ms a potom znovu každých približne 7,5 ms v rytme jeho otáčania. Správny priebeh prúdu sa výrazne nelíši od nameraného priebehu, avšak neobsahuje tieto pravidelné poklesy prúdu. Riadiacou jednotkou bola preto z priebehu pretekajúceho prúdu správne zaznamenaná závala na elektromotore alebo elektroinštalácii.



Obr. 17 - Prúd elektromotorom čerpadla chladiacej kvapaliny VW Transporter so závadou komutácie

Zhodnotenie diagnostiky a oprava závady

Meraním prúdu elektromotora bolo možné jasne určiť závalu komutácie aj bez jeho fyzickej kontroly, ktorú vzhľadom na konštrukciu nie je možné realizovať nedeštruktívnym spôsobom. Závaďa bola odstránená výmenou samotného čerpadla chladiacej kvapaliny. Uvedenú závalu je možné diagnostikovať meraním akýmkoľvek osciloskopom s pripojenými prúdovými kliešťami.

5.1.2.2 Paralelná diagnostika akčných členov – vstrekovacích ventilov paliva

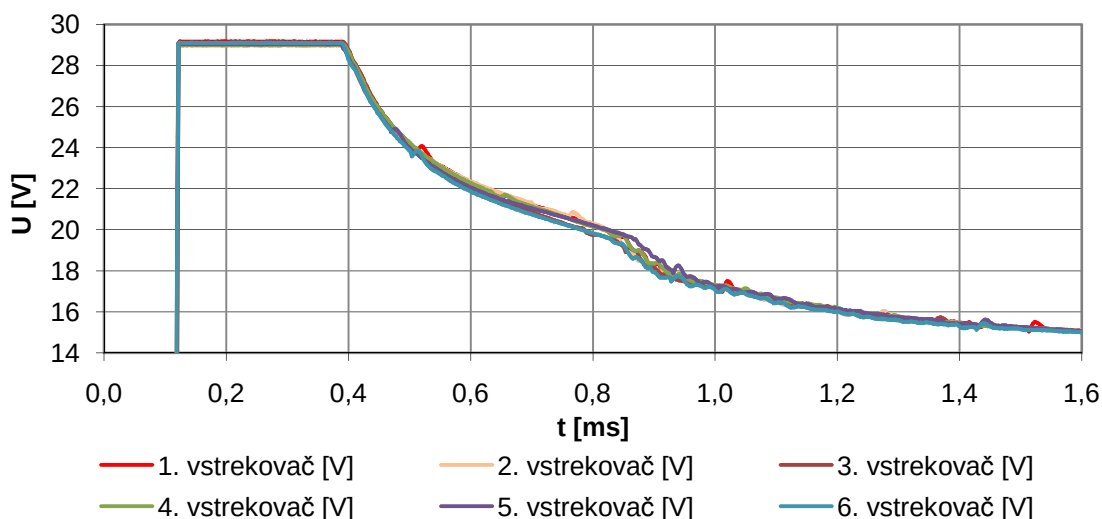
U elektromagnetických ventilov je možné z priebehu napätia zistiť ich voľný chod. Pri pohybe jadra cievky dochádza k indukčii napätia, ktorého priebeh je daný parametrami cievky, pohyblivého jadra a silou vratnej pružiny držiacej jadro v základnej polohe. Aj napriek neznalosti týchto parametrov je podstatná stálosť priebehu napätia pri viacnásobnom zopnutí ventilu za konštantných prevádzkových podmienok. Je preto výhodné porovnávanie priebehov medzi viacerými rovnakými ventilmi použitými na motore.

Realizácia paralelnej diagnostiky meraním napätia elektromagnetických vstrekovacích ventilov

Táto teória bola aplikovaná pri diagnostike vstrekovacích ventilov zážihového motora vo vozidle Peugeot 406 vybaveného zážihovým motorom 3,0 V6 XFX. U vozidla bola riešená závaďa nerovnomerného chodu motora pri voľnobežných otáčkach $800 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, pričom pamäť závad vyčítaná pomocou sériovej diagnostiky Bosch KTS 540 neobsahovala žiadne závady. Signály priebehu napätia jednotlivých vstrekovačov boli zosnímané osciloskopom Texvik DS pri vzorkovacej frekvencii 500 kHz a rozlíšení 2 V/div a časovej základni $0,2 \text{ ms/div}$.

Vyhodnotenie meraných priebehov napätia

Pomocou tabuľkového procesora boli následne uložené dáta z osciloskopu zobrazené s prekrytím signálov jednotlivých vstrekovačov, čím je možné ich jednoduché porovnanie (Obr. 18). Z grafu je patrné, že u vstrekovača paliva 5. valca je pohyb ihly ventilu oneskorený v porovnaní s ostatnými ventilmi. Dochádza preto k jeho oneskorenému uzatvoreniu, čoho následkom je zvýšená vstrekovávaná dávka paliva spôsobujúca mierne nerovnomerný chod motora.



Obr. 18 - Priebeh napätia vstrekovacích ventilov paliva motora Peugeot XFX pri zatváraní

Zhodnotenie zistených rozdielov a overenie výsledkov, oprava závady

Nie je možné zistiť, aký je reálny dopad na množstvo vstrekovateľného paliva, avšak priebeh napätia vstrekovacieho ventilu paliva 5. valca sa vymyká priemeru. Existuje preto dôvod na demontáž vstrekovačov a ich kontrolu na testovacej stolici, kde je možné otestovať aj ďalšie parametre ako reálny prietok paliva a tvar rozstreku. Po kontrole na testovacej stolici ASNU Classic bola zistená odchýlka prietoku paliva 10% z celkového vstrekovateľného množstva. Závada preto bola možné vyriešená výmenou vstrekovacieho ventilu za nový.

5.1.2.3 Paralelná diagnostika mechanického stavu motora meraním prúdu štartéra

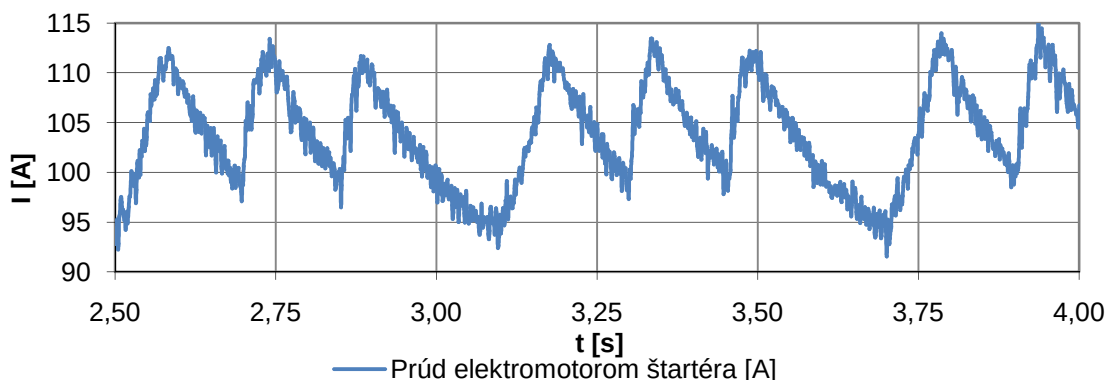
Ďalším využitím paralelnej diagnostiky je posudzovanie mechanického stavu motora a to meraním prúdu elektromotorom štartéra počas štartu motora. Pokiaľ je zabezpečený stav, kedy je možné otáčanie motorom pomocou štartéra po dobu dlhšiu, než je bežný štart, je možné z priebehu jeho prúdu posúdiť rovnomernosť kompresného tlaku medzi jednotlivými valcami. Nie je takto možné zistiť presnú hodnotu kompresného tlaku jednotlivých valcov, avšak v závislosti od hľadanej závady je možné veľmi jednoducho zistiť celkový mechanický stav motora.

Realizácia paralelnej diagnostiky meraním prúdu elektromotorom štartéra

Nakoľko dobrý mechanický stav motora je základným predpokladom pre jeho správnu funkciu, bola táto teória použitá pri diagnostike motora Opel XE18XE1. Vozidlo trpelo nerovnomerným chodom motora, kde nedochádzalo k spaľovaniu zmesi v jednom z valcov. Bola preto zvolená základná diagnostika stavu meraním prúdu štartéra. Meranie bolo realizované osciloskopom Texvik DS s prúdovými kliešťami CA1000D [4] pri vzorkovacej frekvencii 5 kHz a rozlíšení 5 A/div a časovej základni 0,25 s/div počas štartovania pri odpojení zapalovania tak, aby nedošlo k naštartovaniu motora.

Vyhodnotenie meraných priebehov prúdu

Na Obr. 19 je možné sledovať priebeh prúdu počas štartovania vadného 4-valcového motora, u ktorého nedochádza k vytvoreniu tlaku v jednom z valcov. V grafe je možné sledovať 3 po sebe idúce prúdové špičky, všetky o rovnakej hodnote približne 110 A zodpovedajúce mechanickému odporu vytvorenému pri kompresnom takte troch valcov. Nakoľko nedochádza k vytvoreniu tlaku v jednom z valcov, prúd klesá ($t=3$ s a $t=3,6$ s) až do zopakovania kompresného taktu troch funkčných valcov.



Obr. 19 - Graf merania prúdu elektromotorom štartéra pri štartovaní vadného motora Opel XE18XE1

Zhodnotenie merania, záver

Z merania nie je možné zistiť, u ktorého valca došlo k poruche, avšak vzniká nutnosť fyzickej kontroly mechanickej časti motora. Z grafu je možné navyše zistiť otáčky motora pri štartovaní, nakoľko z princípu funkcie 4-dobého 4-valcového motora dochádza k taktu kompresie vždy 2-krát za jednu otáčku kľukového hriadeľa. Čas jednej otáčky medzi prvou a treťou prúdovou špičkou, ktorý je približne 0,3 s, zodpovedá $200 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.

Podobné postupy je možné z hľadiska porovnávania rovnomernosti priebehov pre jednotlivé valce motora aplikovať pre ktorýkoľvek snímač umiestnený na motore. Dôležitá je schopnosť sledovať súvislosti v priebehu signálu s otáčkami motora, vďaka čomu je možné z meraného signálu sledovať prácu jednotlivých valcov motora. Pre lepšie rozlíšenie priebehov signálov jednotlivých valcov je výhodné zároveň so sledovaným signálom merať signál príznačný pre jeden valec, ako je impulz zapalovania u zážihových motorov alebo impulz vstrekovania u vznetrových motorov.

5.2 Automatické prevodovky

V súčasnosti automatické prevodovky rozdeľujeme na niekoľko základných druhov zásadne sa líšiacich konštrukciou:

- hydrodynamické s hydromeničom
- dvojspojkové
- automatizované
- variátorové

Okrem posledného typu, ktorý je založený na mechanickom princípe funkcie s ovládaním radiacou pákou sú všetky ostatné typy prevodoviek riadené výhradne elektronicky. Ak je páka radenia mechanicky spojená s prevodovkou, umožňuje ovládanie toku prevodového oleja tak, že je možné ovládanie toku oleja aj bez riadiacej elektroniky. Je umožnené zaradenie 3. prevodového stupňa pre jazdu vpred, čo postačuje na dojazd vozidla do autoservisu.

Odhlídnúc od štandardnej kontroly hladiny prevodového oleja, ktorý je základným predpokladom pre ich správnu funkciu sa vzhľadom na ich konštrukciu, kde je väčšina komponentov umiestnená vo vnútri obalu, diagnostika obmedzuje na vyčítanie pamäte závad a meranie signálov na prepojavacom vedení. Meranie je však možné len za predpokladu, že je k dispozícii schéma zapojenia vrátane funkčného popisu.

Sériová diagnostika hydrodynamických a dvojspojkových prevodoviek pozostáva z chybových hlásení označujúcich najčastejšie poruchu rozdielu medzi otáčkami vstupného a výstupného hriadeľa nezodpovedajúcimi zvolenému prevodovému stupňu. Ďalej je možné sledovať závady spojené s kolísaním tlaku oleja alebo závady v obvode ovládacích elektromagnetických ventilov riadiacich tok oleja.

U automatizovaných, respektíve robotizovaných prevodoviek platí, že ide o prevodovky vychádzajúce konštrukčne zo štandardných manuálne ovládaných prevodoviek. Tie sú prispôbené pre použitie servomotorov nahradzujúcich ovládanie spojky a radenie prevodových stupňov vodičom vozidla. Vo väčšine prípadov sú závady prevodoviek spojené s chybnou komutáciou ovládacích servomotorov, čo je možné overiť meraním priebehu prúdu osciloskopom pri ich aktivácii tak, ako v predchádzajúcej kapitole.

5.2.1 Paralelná diagnostika funkcie elektromagnetických ventilov ovládacieho bloku hydrodynamickej automatickej prevodovky

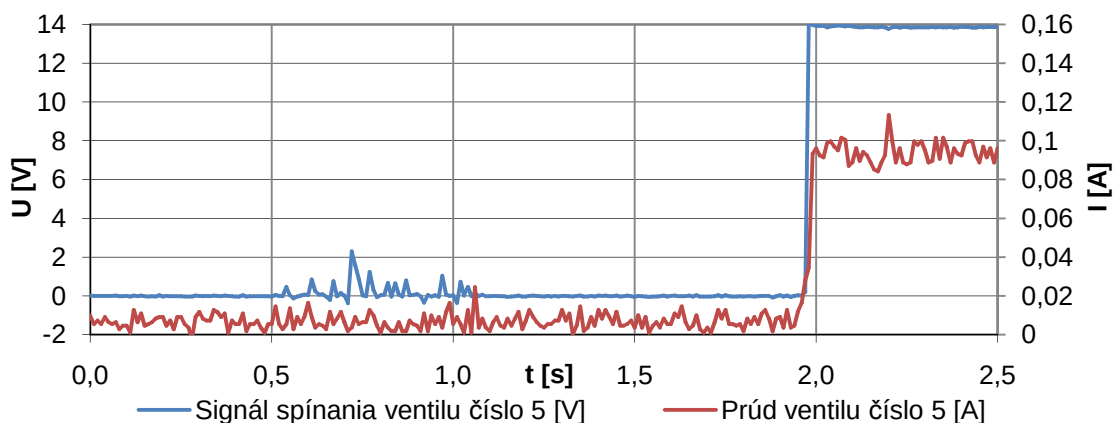
Podobne, ako pri diagnostike elektromagnetických vstrekovacích ventiloch, je možné rovnakú teóriu aplikovať aj na meranie funkcie elektromagnetických ventilov ovládajúcich tok oleja v riadiacom bloku automatických prevodoviek. Meranie je vhodné doplniť o meranie prúdu daným ventilom pre overenie uzatvorenia obvodu.

Realizácia paralelnej diagnostiky elektromagnetických ventilov automatickej prevodovky

Diagnostika ventilov automatickej prevodovky bola realizovaná na vozidle Chevrolet Captiva vybavenom hydrodynamickou prevodovkou Aisin AW55. Po dosiahnutí prevádzkovej teploty prevodovky dochádzalo k sporadickému prepnutiu do núdzového režimu, kedy bol trvale zaradený tretí prevodový stupeň. Pomocou sériovej diagnostiky Bosch KTS 540 bol zistený chybový kód P0986 – 5. solenoid – prerušenie obvodu alebo skrat na plus. Meraním odporu solenoidu na pripojovacom vedení a porovnávaním odporu s ostatnými solenoidmi však nebola zistená žiadna odchýlka medzi všetkými ovládacími solenoidmi. Bolo preto nutné pokračovať paralelnou diagnostikou pomocou osciloskopu Texvik DS a prúdových klieští CA60 so záznamom meraného signálu. Pri meraní prúdu a ovládacieho napätia solenoidu na prepojovacej kabeláži bola nastavená vzorkovacia frekvencia 100 Hz s rozlíšením 2 V/div a 20 mA/div a časová základňa 0,5 s/div.

Vyhodnotenie meraných priebehov napätia a prúdu elektromagnetického ventilu

Bol zistený sporadický výskyt šumu v ovládacom signále (Obr. 20 medzi $t=0,5$ s a $t=1,1$ s), avšak bez vplyvu na veľkosť pretekajúceho prúdu v kľudovom stave ventilu. Veľkosť prúdu v dobe kľudového stavu je nenulová z dôvodu odchýlky merania prúdovými kliešťami CA60, ktorá je pri prevode $1\text{mV}/10\text{mA} \pm 1,5\%$ z meranej hodnoty ± 5 mA. [17] V predmetnom čase dochádzalo k zvyšovaniu napätia vplyvom prechodového odporu v integrovanej kabeláži prevodovky, pravdepodobne z dôvodu prítomnosti pull-up rezistora vo výstupnom obvode riadiacej jednotky.



Obr. 20 - Graf merania vadných signálov ventilu číslo 5 automatickej prevodovky Aisin

Zhodnotenie merania, záver

Po fyzickej kontrole ventilového bloku prevodovky bola zistená závada na konektore solenoidu číslo 5, kde došlo vplyvom zmien teplôt počas prevádzky k uvoľneniu kontaktu konektora. Oprava bola prevedená jeho vyčistením a opätovným napružením. Meraním bolo možné prísť k záveru bez nutnosti kompletného rozoberania prevodovky. Pri riešení závady využitím sériovej diagnostiky je otázne, ako by samotná oprava prebiehala. Samotné meranie kabeláže by vzhľadom na charakter závady

nepreukázalo žiadne nedostatky. Pravdepodobná by preto bola postupná výmena komponentov od ventilu samotného cez kabeláž prevodovky až po samotnú riadiacu jednotku automatickej prevodovky.

Automatické prevodovky predstavujú komplexný systém, často so sporadicky sa prejavujúcimi závadami, kde preto nie je možná paralelná diagnostika bez možnosti dlhodobého záznamu meraných signálov. Paralelná diagnostika preto v tejto oblasti poskytuje veľmi cenné informácie, nakoľko opravy automatických prevodoviek znamenajú investíciu často presahujúcu obecnú hodnotu vozidla.

5.3 Brzdové a stabilizačné systémy

So zvyšovaním bezpečnosti prevádzky vozidiel bezprostredne súvisí riadenie brzdových a stabilizačných systémov. Aby bolo možné vykonať zásah do riadenia vozidla v čo najkratšom čase, je nevyhnutná vysoká citlivosť použitých snímačov, akými sú snímače uhlovej rýchlosti nábojov kolies, snímače rotácie či zrýchlenia karosérie, snímače tlaku brzdovej kvapaliny a snímače uhlu natočenia volantu.

5.3.1 Paralelná diagnostika snímačov uhlovej rýchlosti nábojov kolies

Najčastejšie sa vyskytujúcimi sú závady snímačov uhlovej rýchlosti nábojov kolies, u ktorých môže dôjsť k prerušeniu vedenia vplyvom dlhodobého namáhania kabeláže v mieste prechodu z karosérie na pohyblivé zavesenie kolies. Ďalšou možnosťou je záhada snímača vplyvom vniknutia vlhkosti alebo pulzného rotora umiestneného na náboji kolesa. Ten môže byť poškodený koróziou, čo má za následok zníženie veľkosti magnetického toku snímačom v konkrétnej polohe rotora a následné skreslenie jeho výstupného signálu. Závady snímačov, respektíve pulzných rotorov nie sú vždy spojené so zapísaním chybového hlásenia do pamäte závad a môžu spôsobiť falošné spúšťanie systému stabilizácie. Vtedy je nutné okamžite pokračovať paralelnou diagnostikou meraním signálov snímačov uhlovej rýchlosti všetkých nábojov kolies. Vzhľadom na možnosť porovnať signály medzi jednotlivými snímačmi nie je nutné poznať presný princíp ich funkcie v konkrétnom vozidle. Dôležitá je pravidelnosť výstupných signálov, nakoľko sa jedná o relatívne snímanie.

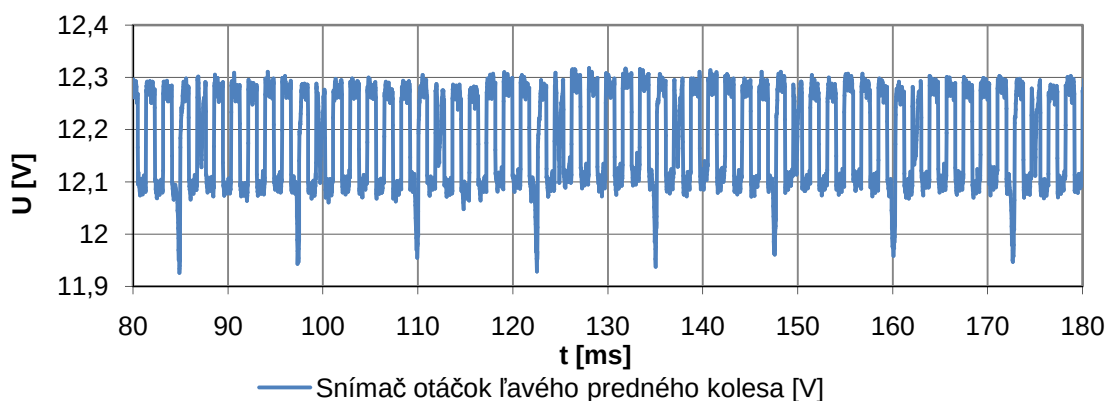
5.3.1.1 Realizácia paralelnej diagnostiky snímačov uhlovej rýchlosti nábojov kolies

Navrhnutá diagnostika bola realizovaná na vozidle Ford Focus z roku 2001, u ktorého dochádzalo k sporadickému rozsvieteniu kontrolky závady protiblokovacieho systému kolies. Sériovou diagnostikou Bosch KTS 540 bol zistený kód závady C0040 – pravý predný snímač rýchlosti otáčania kolesa - rozpojený obvod. Pre overenie závady bolo realizované meranie signálov snímačov uhlovej rýchlosti nábojov kolies prednej

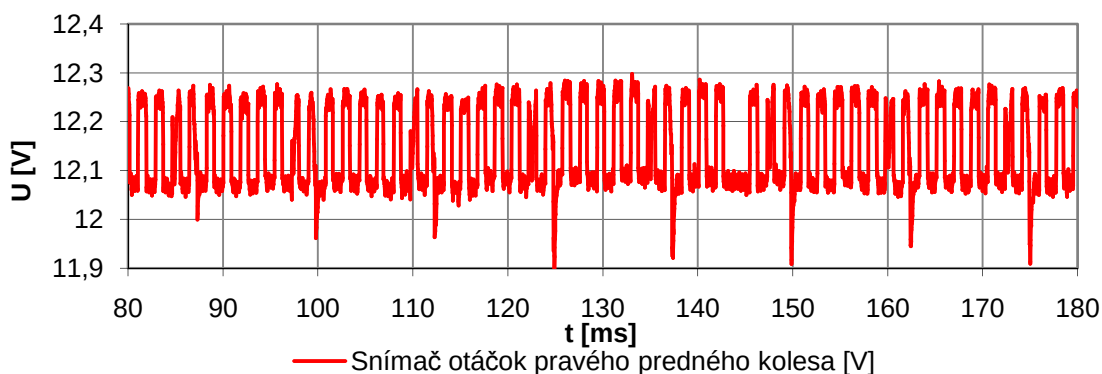
osi vozidla osciloskopom Texvik DS so záznamom pri vzorkovacej frekvencii 2,5 kHz s rozlíšením 0,1 V/div a nastavení časovej základne 10 ms/div.

Vyhodnotenie priebehov výstupného napätia snímačov uhlovej rýchlosti nábojov

Namerané priebehy je možné vidieť na Obr. 21 a Obr. 22. Je viditeľný rozdiel v signáloch snímačov uhlovej rýchlosti ľavého a pravého predného kolesa, kde na Obr. 22 v čase $t=143$ ms dôjde k výpadku snímania jedného z pólov pulzného rotora na pravom prednom náboji kolesa.



Obr. 21 - Signál snímača otáčok ľavého predného kolesa vozidla Ford Focus



Obr. 22 - Signál snímača otáčok pravého predného kolesa vozidla Ford Focus

Zhodnotenie merania, záver

Meraním osciloskopom došlo k zisteniu, že hlásenie o rozpojenom obvode nie je pravdivé, nakoľko v skutočnosti ide o mechanickú závalu pulzného rotora uchyteného na náboji kolesa. Pravidelné rušenie vo forme špičiek ($t=85$ ms a potom každých 12,5 ms) v grafoch pochádza zo zapalovania zážihového motora, ktorým je vozidlo vybavené. Fyzickou kontrolou pulzného rotora bolo zistené jeho poškodenie koróziou, následnou výmenou došlo k oprave závady. Ak by bola závada riešená iba využitím sériovej diagnostiky, došlo by pravdepodobne k zbytočnej výmene snímača otáčok so stále rovnakým prejavom závady.

5.4 Komunikačné zbernice

V moderných vozidlách najčastejšie používanou a diagnostikovanou je zbernica CAN (Controller Area Network). Jedným z hlavných dôvodov zavedenia komunikačných zberníc je rozrastajúca sa komfortná a bezpečnostná výbava vozidiel, s čím súvisí aj sa rozsah kabeláže. Navyše vzhľadom na menší rozsah kabeláže a konektorov pri použití komunikačných zberníc sa znižuje aj riziko poruchy. Zbernica je tvorená krúteným párom vodičov, kde dochádza k aktivácii signálu vždy na oboch vodičoch zároveň v obrátenom zmysle, vďaka čomu je zabezpečená odolnosť komunikácie voči elektromagnetickému rušeniu. Najväčšou nevýhodou vzhľadom na paralelné zapojenie zbernice je náchylnosť na výpadok komunikácie pri fyzickom poškodení kabeláže alebo pri poruche aj iba jedného z pripojených komponentov. Základným predpokladom pre diagnostiku komunikačnej zbernice je znalosť zoznamu radiacích jednotiek k nej pripojených zo schémy zapojenia. [16]

5.4.1 Sériová diagnostika komunikačných zberníc

Z hľadiska sériovej diagnostiky sú možnosti obmedzené na diagnostiku zbernice vo chvíli, keď samotná komunikácia funguje, čo je možné realizovať pri sporadických výpadkoch komunikácie. V takom prípade pri vyčítaní pamäte závad všetkých radiacích jednotiek pripojených na zbernicu je možné získať výpis závad radiacích jednotiek vedúci ideálne k jedinému, vadnému komponentu. Ak nie je možné nadviazať na zbernici žiadnu komunikáciu, postupným odpájaním komponentov na zbernicu pripojených až do sprevádzakovania komunikácie vylučujeme práve vadný komponent brániaci komunikácii. Inou možnosťou je meranie hodnoty ukončovacích odporov umiestnených v jednotlivých komponentoch na zbernicu pripojených, pričom hodnota odporu je štandardne $120\ \Omega$.

5.4.2 Paralelná diagnostika komunikačných zberníc

Dochádza k situáciám, kedy vyššie uvedenými metódami nie je možné zistiť konkrétny vadný komponent napriek tomu, že funkcia komunikačnej zbernice je obmedzená. Podobne ako pri sériovej diagnostike spaľovacích motorov, nedochádza k zápisu žiadneho chybového hlásenia u ani jednej radiacej jednotky. Základom pre paralelnú diagnostiku je minimálne znalosť napäťových úrovní komunikácie na zbernici. Zbernica CAN je používaná podľa druhu ako nízkorýchlostná (do $125\text{ kbit}\cdot\text{s}^{-1}$) a vysokorýchlostná (do $1\text{ Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$). Základné napäťové parametre sú uvedené v Tab. 3. Paralelnou diagnostikou osciloskopom tak je možné overiť správnosť napäťových úrovní a odhaliť nepravdivosti v komunikácii na zbernici. Nakoľko nie je možné jednoducho signál spracovať do inej formy, je diagnostika obmedzená na overovanie priebehu signálu, ktorý však nie je vopred známy. Preto je východiskom sledovanie

priebehov v snahe rozlíšiť komunikáciu jednotlivých komponentov a odhaliť chybu v komunikácii.

Tab. 3 - Štandardné napäťové úrovne vodičov komunikačnej zbernice CAN

	Nízkorýchlostná CAN-B	Vysokorýchlostná CAN-C
Rýchlosť komunikácie	125 kbit·s ⁻¹	1 Mbit·s ⁻¹
Nominálne napätie CAN-H	0 V, maximálne 0,3 V	2,5 V
Aktívna komunikácia CAN-H	minimálne 3,6 V	3,5 V
Nominálne napätie CAN-L	5 V, minimálne 4,7 V	2,5 V
Aktívna komunikácia CAN-L	maximálne 1,4 V	1,5 V

5.4.2.1 Realizácia diagnostiky komunikačnej zbernice

Diagnostika bola realizovaná u vozidla Alfa Romeo GT roku výroby 2004, kde dochádzalo k sporadickému výpadku ukazovateľov prístrojového panelu s rozsvietením varovných kontroliek stabilizačného systému a imobilizéra.

Diagnostika závady využitím možností sériovej diagnostiky

Vyčítaním závad všetkých riadiacich jednotiek sériovou diagnostikou Bosch KTS 540 bolo zistených niekoľko závad:

Riadiaca jednotka motora

- U1706 – komunikácia s ABS/ESP – chýba signál
- U1601 – CAN typ C – vypnutý
- U1600 – imobilizér – vadný
- U1700 – komunikácia s centrálnou elektronikou – chýba signál

Centrálna elektronika vozidla

- U1602 – nízkorýchlostná zbernica CAN – vypnutá

Stabilizačný systém

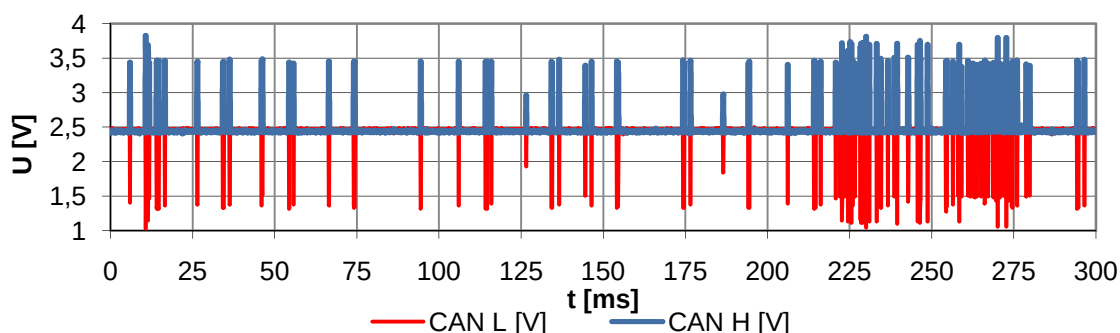
- C1520 – chyba vedenia C-CAN – trvalá
- C1521 – chyba podávania správ CAN – trvalá

Je možné sledovať nesúlad medzi chybovými hláseniami, kde niektoré riadiace jednotky popisujú závalu zbernice CAN-B, ostatné CAN-C. Vozidlo je vybavené iba jednou zbernicou CAN-C, tento nesúlad je vzhľadom k závale irelevantný. Chybové hlásenie o vadnom imobilizéri nie je pravdivé, keďže je možné motor naštartovať, hlásenie je preto spôsobené výpadkom komunikácie. Meraním ukončovacích odporov vedenia umiestnených v jednotlivých riadiacich jednotkách bežným multimetrom HERTH+BUSS 95980775 nebola zistená žiadna odchýlka od požadovanej hodnoty odporu 120 Ω.

Diagnostika závady paralelnou diagnostikou

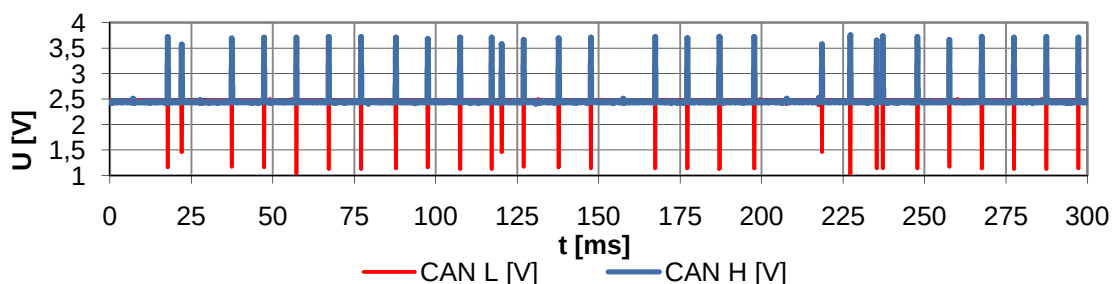
Paralelnou diagnostikou osciloskopom Texvik DS bolo možné pri vzorkovacej frekvencii 10 kHz, rozlíšení 1 V/div a časovej základni 25 ms/div sledovať pripojením na komunikačnú zbernicu v diagnostickej zásuvke rozdiel v signáloch zbernice v čase

prevádzky bez závady aj v čase výpadku (Obr. 23, $t=220$ ms až $t=280$ ms). Je viditeľný neštandardný priebeh signálov v podobe rušenia sprevádzaný výpadkom ukazovateľov prístrojového panelu a zobrazením chybových hlásení na paneli prístrojov.



Obr. 23 - Priebeh signálu zbernice CAN-C vozidla Alfa Romeo GT v čase výpadku komunikácie

Odpájaním riadiacich jednotiek pripojených na zbernicu bolo zistené, že po odpojení riadiacej jednotky motora nie je ďalej prítomné rušenie v signále (Obr. 24). Pri opätovnom meraní ukončovacích odporov pri prevádzkovej teplote motorového priestoru približne 90°C , bol na vstupe riadiacej jednotky motora multimetrom nameraný odpor $36\text{ k}\Omega$. To potvrdilo podozrenie na jej závalu, po jej výmene za inú bola závala odstránená.



Obr. 24 - Priebeh signálu zbernice CAN-C vozidla Alfa Romeo GT pri odpojení riadiacej jednotky motora

Zhodnotenie merania, oprava závady a záver

Závalu nebolo možné riešiť použitím sériovej diagnostiky, nakoľko tá nepoukazovala na závalu žiadnej konkrétnej riadiacej jednotky. Paralelnou diagnostikou osciloskopom bolo možné závalu diagnostikovať aj bez priamej znalosti princípov funkcie komunikačnej zbernice. Dôsledným porovnávaním signálov vodičov zbernice bolo možné vylučovacou metódou zistiť, ktorá z riadiacich jednotiek na zbernicu pripojených spôsobuje jej rušenie. Závala bola odstránená výmenou riadiacej jednotky motora.

Poruchy komunikačných zberníc obecné sa radia medzi najproblematickejšie, nakoľko signál nie je možné jednoducho konvertovať do čitateľnej formy. Metódou odpájania a porovnávania signálov je možné odhaliť pôvod závady, no vzhľadom na zmenu obsadenia zbernice sa dá očakávať aj zmena tvaru signálu. Z toho dôvodu je nutné signály precízne porovnať a minimalizovať tak riziko chybné diagnostiky.

6 NÁVRH METODIKY MULTITESTOV

Metodika multitestov sa spája s paralelnou diagnostikou spaľovacích motorov, u ktorých je možné meranie veľkého množstva signálov spojených s ich funkciou. Základnou motiváciou pre realizáciu je moment, kedy sériová diagnostika nie je schopná poskytnúť žiadne alebo poskytuje len minimálne informácie relevantné vzhľadom k riešenej závade. Najčastejšia je situácia, kedy pamäť závad riadiacich jednotiek neobsahuje žiadne záznamy, no napriek tomu je použitie vozidla výrazne obmedzené alebo úplne nemožné. V inom prípade môže byť z grafov meraných hodnôt sériovou diagnostikou zrejмый moment, kedy došlo k poklesu alebo výpadku výkonu, avšak vzhľadom na nízku obnovovaciu frekvenciu nie je jasné, ktorá z meraných hodnôt mala prvotný vplyv na výpadok.

Multitest je možné realizovať ako meranie viackanálovým osciloskopom čo najväčšieho množstva signálov komponentov, u ktorých sa predpokladá spojitosť s diagnostikovanou závadou. V niektorých prípadoch je navyše nevyhnutné použitie vlastných externých snímačov pre meranie štandardne nemeraných parametrov. Dochádza tak k nameraniu veľkého objemu dát, ktoré bez ďalšieho spracovania nie vždy postačujú pre sledovanie prejavu závady.

Navrhovaným prístupom má byť čo najefektívnejšie využitie najmenšieho množstva nameraných signálov pri paralelnej diagnostike spaľovacích motorov. Výrobcovia osciloskopov Texvik a Pico Technology ako jediní umožňujú používanie vlastných naprogramovaných skriptov pre spracovanie meraných signálov. Vzhľadom na dostupnosť a technickú podporu výrobcu sú všetky realizované a prezentované softvérové doplnky určené pre osciloskopy spoločnosti Texvik bez ohľadu na hardvérové prevedenie. Pomocou nich je možné výrazne urýchliť a finančne zefektívniť diagnostiku a následnú opravu. Navrhované multitesty umožňujú jednoduchú a cieľavedomú komplexnú kontrolu riadenia motorov bez nutnosti použitia ďalších periférií. Namerané signály uvedené v kapitole sú pre publikáciu spracované v softvéri Matlab.

6.1 Multitest meraním dostupných signálov

Pri výbere meraných signálov je nutné vychádzať z predpokladov ich vplyvu na riešenie závady. Základné rozdelenie určuje charakter závady, kde sa rozlišuje vplyv závady na chod motora. Rozlišujeme na závady, ktoré majú čiastočný vplyv na chod motora, najčastejšie vo forme poklesu výkonu a tie, kde dochádza k jeho úplnému výpadku.

Medzi základné a nevyhnutné merané parametre je možné zaradiť signály snímačov:

- otáčok kľukového a vačkového hriadeľa, posudzujeme jednak ich validitu a zároveň mechanický stav ventilového rozvodu, či jeho opotrebenie

- hmotnosti nasávaného vzduchu, z ktorého posudzujeme funkčnosť sacieho traktu motora
- tlaku nasávaného vzduchu, z ktorého podobne ako u merača hmotnosti je možné posúdiť rovnomernosť pulzácií v sacom potrubí vzhľadom k práci jednotlivých valcov motora
- tlaku paliva, kde sledujeme jeho stabilitu, respektíve nárast vzhľadom na požiadavok vodiča na výkon motora
- lambda sondy, z ktorého zisťujeme množstvo zostatkového kyslíka vo výfukových plynoch, opäť vzhľadom na aktuálny požadovaný výkon motora
- polohy ventilu recirkulácie výfukových plynov

Signály snímačov iba monitorujú chod motora pre jeho riadenie, no ich priebeh je ovplyvnený akčnými členmi ovládajúcimi mechanické komponenty motora, ako napríklad vysokotlaké palivové čerpadlo. Meranie je preto u motorov vybavených priamym vstrekaním paliva vhodné doplniť o signály striedy ovládania akčných členov, ak tými je vozidlo vybavené:

- dávkovacieho ventilu vysokotlakého čerpadla
- regulátora vysokého tlaku paliva
- servomotora ventilu recirkulácie výfukových plynov

Je možné, že k výpadku dôjde po dosiahnutí medznej striedy, ktorá je obecné neznáma, avšak určená mechanickými parametrami komponentu. Preto by bolo vhodné signál previesť do formy priamo zobrazujúcej zmenu priebehu veľkosti striedy ovládania. Následne by bolo možné pri viacnásobnom výpadku určiť, či k nemu dôjde po dosiahnutí konkrétnej striedy ovládania niektorého komponentu.

Pre orientáciu v signáloch a priradenie ich dynamických priebehov k funkcii jednotlivých valcov je dôležité signály viazať k jednému z valcov motora. Najčastejšie je preto meraný signál vstrekovania 1. valca u vznetrových alebo signál zapalovacieho modulu 1. valca u zážihových motorov. U závad, kde dochádza k úplnému výpadku výkonu motora, respektíve jeho zastaveniu je nevyhnutné meranie doplniť o signály napájania riadiacej jednotky a periférnych komponentov, vrátane kostriacich vodičov a komunikačnej zbernice. O nutnosti merania týchto signálov môže nasvedčovať aj chovanie sériovej diagnostiky v čase výpadku. Ak v momente výpadku dôjde k nečakanému prerušeniu komunikácie, dá sa predpokladať výpadok napájacích obvodov riadiacej jednotky alebo komunikačnej zbernice samotnej.

Vzhľadom na pomerne veľké množstvo potrebných meraných signálov ich nie je možné pokryť jedným meraním. Počas diagnostiky sporadických závad je časovo neefektívne meranie signálov, u ktorých neexistuje predpoklad na bezprostredný vplyv na závalu. Z hľadiska časovej optimalizácie preto je nutné výber meraných signálov vždy podriaďovať charakteru závady a pri závadách spôsobujúcich úplný výpadok výkonu motora sa zamerať na signály nevyhnutné pre fungovanie riadenia motora (snímače otáčok, tlaku paliva, napájanie komponentov a riadenie vstrekovania, respektíve

zapaľovania). Naopak pri poklese výkonu motora sa dá predpokladať, že signály nevyhnutné pre fungovanie riadenia sú neustále k dispozícii a teda bez závady. Vtedy sa je nutné zamerať na signály zabezpečujúce korekciu priebehu spaľovania (snímač hmotnosti nasávaného vzduchu, tlaku nasávaného vzduchu, polohy ventilu recirkulácie, lambda sondy).

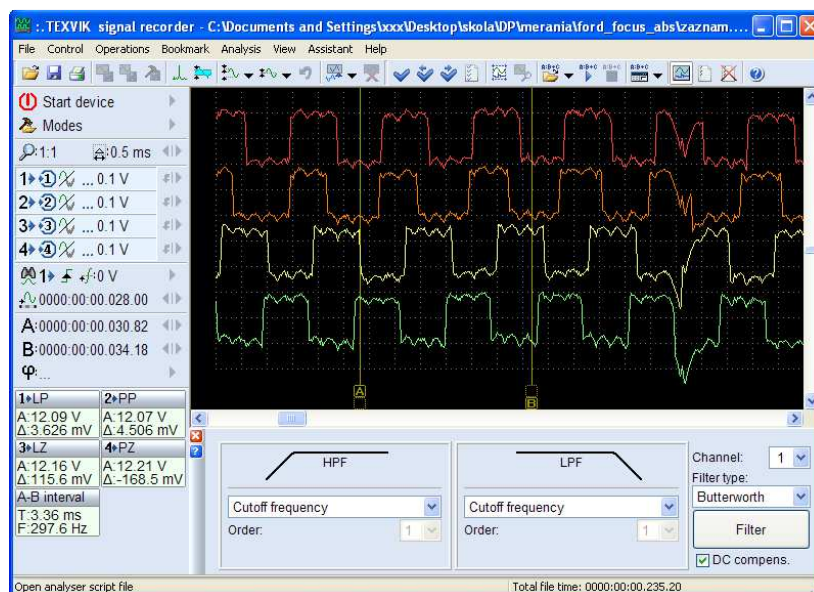
6.2 Návrh multitestov spracovaním signálov

Spracovanie signálov pri paralelnej diagnostike predstavuje nový prístup riešenia závad, ktoré v niektorých prípadoch nie sú realizovateľné ani na bežne dostupných testovacích zariadeniach komponentov, akými sú vstrekovacie trysky vznetových motorov. Výrobca osciloskopov Texvik na vyžiadanie dodáva popis tvorby analyzačných skriptov pre spracovanie nameraných signálov s ich textovým alebo grafickým výstupom. Realizácia skriptov je možná v jazykoch Java Script alebo Visual Basic Script s využitím vstavaných funkcií a objektov pri tvorbe vlastných. Softvér umožňuje tvorbu dvoch druhov analyzačných skriptov, jeden vo forme skriptu spracovávajúceho namerané dáta do novej zvolenej formy, takzvaný analyzačný skript. Druhý, analyzačný panel vo forme spracovania signálov zobrazovaných zároveň s ostatnými nameranými signálmi pre ich lepšie pochopenie s ovládacím panelom zobrazeným v okne programu. Súčasťou dokumentácie je aj editačný softvér umožňujúci ladenie vytvorených analyzačných skriptov a panelov. Popis tvorby, vrátane editačného softvéru od výrobcu osciloskopu je uvedený v Prílohe 1.

Súčasťou programového vybavenia osciloskopu je aj niekoľko už realizovaných analyzačných skriptov a panelov: [15]

- synchronizácia ľubovoľných signálov viacerých kanálov pre ich porovnanie
- zobrazenie časových parametrov meraného signálu jedného kanálu
- softvérový filter (Obr. 25)
- fázový panel pre diagnostiku mechanického stavu valca
- diagnostika rozvodového mechanizmu a tesnosti valcov
- diagnostika štartovacej a nabíjacej sústavy
- diagnostika mechanického stavu motora a zapaľovacieho systému
- export nameraných signálov do csv súboru

Uvedené skripty umožňujú diagnostiku spaľovacích motorov, respektíve spracovanie ľubovoľných signálov za presne daných podmienok. Pre ich použitie je často vyžadovaný signál externého snímača merajúceho parametre zodpovedajúce zisťovanej skutočnosti, ako napríklad snímač tlaku vo valci motora. Podrobný popis funkcie a požadovaných signálov je možné nájsť na webstránke výrobcu [15].



Obr. 25 - Okno softvéru osciloskopu Texvik so zobrazením panelu softvérového filtra v spodnej časti

6.2.1 Návrh softvérového prevodníka signálu s premennou striedou alebo frekvenciou na zmenu parametrov v čase

Niektoré komponenty, ako napríklad snímače hmotnosti vzduchu, typicky u vozidiel Ford, disponujú obdĺžnikovým výstupným signálom s premenlivou frekvenciou. Zobrazením takého signálu preto nie je možné priamo sledovať zmeny zodpovedajúce zmene množstva nasávaného vzduchu. Bez znalosti dynamického priebehu signálu množstva nasávaného vzduchu nie je možné posúdiť funkčnosť snímača samotného, ani mechanický stav sacieho traktu motora. Výpovedná hodnota merania je tak nedostatočná.

Vloženie akéhokoľvek iného snímača hmotnosti nasávaného vzduchu do sacieho traktu s napäťovým výstupom v podobe jednosmerného napätia je možné získať požadovaný priebeh signálu, avšak vzhľadom na jeho odlišnú konštrukciu a umiestnenie nie je možné garantovať relevanciu nameraných dát. Rovnako vložený snímač predstavuje nežiadúcu reštrikciu v sacom potrubí, čím skresľuje výstupný signál originálne montovaného snímača hmotnosti vzduchu. V neposlednom rade vzhľadom na obmedzené priestorové podmienky moderných vozidiel, nemusí byť dispozične možné použitie vlastného snímača. Vzniká tak motivácia na analýzu signálu originálne montovaného snímača prietoku.

Podobne meraním signálu striedy signálu ovládajúceho akčné členy nie je možné efektívne sledovať jej zmeny v čase a teda súvislosť medzi zmenou striedy a hodnotou signálu závislou od ovládaného akčného člena.

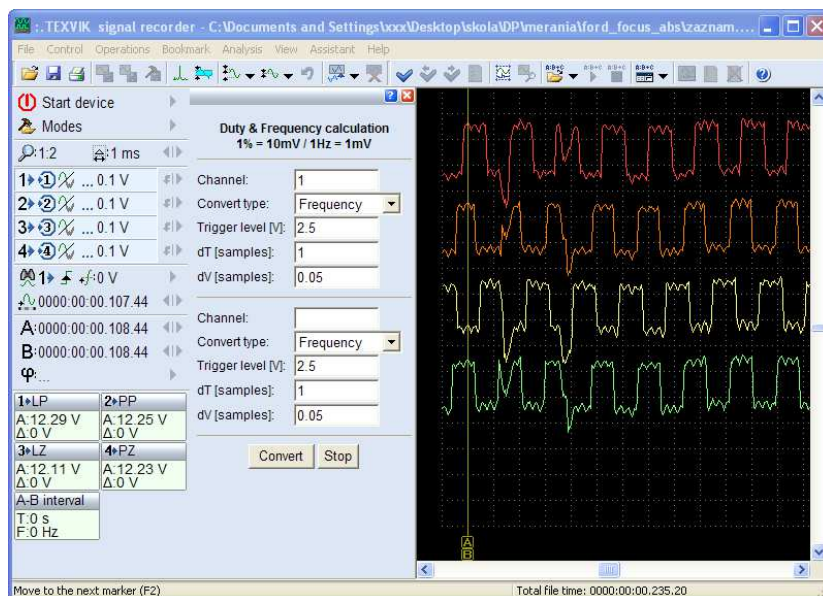
V súčasnosti používaný hardvérový prevodník frekvencie na napätie od výrobcu osciloskopu Texvik s pevne daným prevodovým pomerom F2U [15] nevyhovuje pri

meraniach s premenlivou striedou a zároveň aj frekvenciou signálu, kde každý parameter nesie zvláštne informácie. Taktiež je problematické meranie signálov, u ktorých nie je známy ich priebeh, respektívne parameter nesúci informácie. Prevodník je predávaný vo forme zásuvného modulu, ktorý je možné naviac použiť iba pre osciloskopy rady DSR. Meraný signál nie je možné uložiť v jeho pôvodnej forme inak, ako paralelným meraním ďalším kanálom. Zároveň je možné voľbou na prepínači modulu zmeniť prevod striedy meraného signálu alebo frekvencie, nikdy nie však obidve zároveň. Parametre prevodníka sú obmedzené šírkou jeho pásma na 80 Hz až 16 kHz s pevne daným prevodom. Konkrétna konštrukcia a presné parametre prevodníka okrem uvedených nie sú známe.

Z vyššie uvedených dôvodov vzniká motivácia pre vytvorenie softvérového prevodníka signálov, ktorý by zastával minimálne funkcie jeho hardvérovej verzie s ďalšími možnosťami. Hlavnou výhodou má byť uloženie signálov v ich pôvodnej forme, čo umožňuje ich opätovné spracovanie ľubovoľným spôsobom. Naviac je z hľadiska časovej optimalizácie diagnostiky výhodná možnosť ľubovoľného spracovania signálu až po jeho uložení.

6.2.1.1 Realizácia analyzačného panelu prevodu signálu s premennou frekvenciou alebo striedou na zmenu parametrov v čase

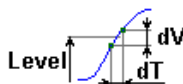
Analyzačný panel pozostávajúci zo skriptu Duty_Freq.apn (Obr. 26) v prílohe číslo 2 bol realizovaný v softvéri ScriptEditor 2.1.1.7 (príloha 1), ktorý je súčasťou programového vybavenia osciloskopu. Pri tvorbe boli využité dostupné programové funkcie pre hľadanie polohy hrán signálu so spracovaním ich výstupov do požadovanej formy.



Obr. 26 - Okno softvéru osciloskopu Texvik so zobrazením panelu softvérového prevodníka

Vzťah toku dát medzi obslužným softvérom a panelom je realizovaný pomocou funkcie OnTransform, ktorá zabezpečuje prekreslenie dát zobrazovaných v okne softvéru pri

každej zmene zobrazovaného časového okna. Dochádza k prevodu vždy aktuálne zobrazovaných vzoriek signálov v obslužnom okne. Je možné zvoliť prevod dvoch meraných kanálov so samostatným upresnením parametrov synchronizácie snímania nábežnej a zostupnej hrany signálu. Základným parametrom je voľba spúšťacieho napätia „Level“, pre ktoré sú detekované hrany signálu a rozsahu počtu vzoriek „dT“ a rozdielu napätia „dV“ pre priemerovanie vzoriek pri detekcii hrán konvertovaného signálu. Zvyšovaním hodnoty dT je umožnená filtrácia šumu nízkofrekvenčných signálov, zvyšovaním hodnoty dV je naopak podporená detekcia hrán vysokofrekvenčných signálov.



Obr. 27 - Princíp voľby parametrov pre detekciu hrán v signále[Príloha 1]

Ďalej je na nasledujúcej strane uvedená časť kódu zabezpečujúca detekciu hrán signálu a následný prepočet do zvolenej formy zobrazenia zmeny frekvencie alebo striedy signálu v čase. V základnom režime, kedy je zvolená konverzia frekvencie meraného signálu sú snímané nábežné hrany signálu funkciou FindFront pre výpočet periódy meraného signálu vo forme pozície nábežných hrán v množine vzoriek signálu. Zo znalosti vzorkovacej frekvencie je následne podľa prepínača iConvType realizovaný výpočet doby trvania periódy a samotnej frekvencie meraného signálu. Pre čas od počiatku meraného signálu do výpočtu prvej známej periódy signálu je zobrazená prvá vypočítaná frekvencia alebo strieda signálu. V ďalšom zobrazení je medzi dvomi nábežnými hranami zobrazená vždy aktuálne vypočítaná hodnota. Pre čas od poslednej vypočítanej hodnoty do konca zobrazovaného signálu je obdobne ako na začiatku zobrazená posledná známa hodnota. Počas konverzie je funkciou SetProgress v stavovom riadku okna zobrazovaný stav výpočtu konverzie, čo upozorňuje obsluhu na prebiehajúci výpočet. Zjednodušený princíp konverzie signálov je možné vidieť na blokovom diagrame na Obr. 28.

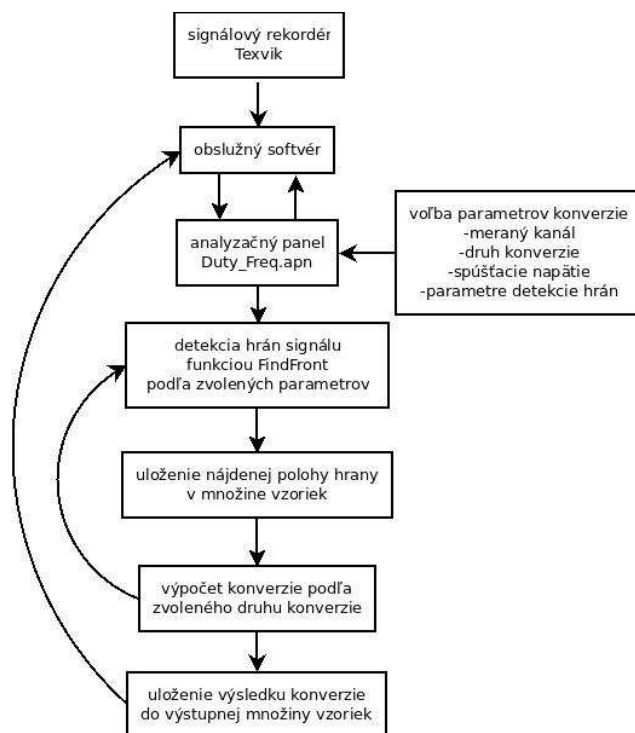
Ďalšou možnosťou je konverzia striedy meraného signálu v percentách, pričom je možné voľiť medzi striedou s pozitívnym alebo negatívnym spínaním meraného komponentu. Vtedy dochádza k snímaniu zostupnej hrany signálu hľadanej v čase medzi dvomi vzostupnými hranami. Voľbu kladnej alebo zápornej striedy je možné realizovať zo znalosti schémy zapojenia komponentu, z výsledku merania jeho prúdu alebo z merania jeho druhého vodiča, ktorý je spravidla trvale napájaný palubným napätím vozidla. Veľkosť striedy v percentách je následne vypočítaná zo znalosti polohy hrán v množine nameraných vzoriek výpočtom trvania periódy signálu, doby zopnutia komponentu a následným prepočtom na hodnotu striedy v percentách.

Prevod veľkosti striedy na zobrazované napätie je pevne daný pomerom $1\% = 10\text{mV}$ pre vyhovujúce zobrazenie, nakoľko maximálne zobrazované napätie v grafe je programovo dané na 30 V a maximálne rozlíšenie je 10 mV/div. Prevod medzi frekvenciou a napätím zobrazovaným v grafe je daný pomerom

1Hz = 1mV, z čoho plynie maximálne zobrazovaná frekvencia 30 kHz vyhovujúca pre meranie signálov v automobiloch.

```
while (InStreamObj.FindFront(1, Level, dT, dV)) { // While any matching Raise front is found
iNextPos = InStreamObj.GetPos(); //Get position of Raise front
if (iPos >= 0) { //If not first Raise position in Stream
    iPeriod = iNextPos - iPos; // Calculate period in number of samples
    switch (iConvType){ // Check if Frequency or Duty calculation is checked
        case 0: // For Frequency calculation 1mV = 1Hz
            iOutput = Math.ceil(10/(iPeriod/Sampling))/10000;
            break;
        case 1: // For positive Duty cycle 1% = 10mV
            iOutput = Math.ceil(100*((iFallPos-iPos)/iPeriod))/100;
            break;
        case 2: // For negative Duty cycle 1% = 10mV
            iOutput = Math.ceil(100*((iNextPos-iFallPos)/iPeriod))/100;
            break; }
    if (first == 1) // If first calculation of Period
        // For every output sample from position 0 to iNextPos, set calculated frequency
        for (i=0; i<=iNextPos; i++){
            OutStream[i] = iOutput;
            first = 0; } // Unset first duty/frequency calculation flag
        // For every other calculations from position iPos to iNextPos, set calculated frequency
        else
            for (i=iPos; i<=iNextPos; i++)
                OutStream[i] = iOutput; }
    if (iConvType != 0){ // Look for Fall front before next Rise front if duty cycle calculation set
        InStreamObj.FindFront(-1, Level, dT, dV); // Look for next Fall front
        iFallPos = InStreamObj.GetPos();}
    iPos = iNextPos; // Set position to iNextPos
    Host.SetProgress(iNextPos); // Set progress bar position
}
if(first != 1) // For position from last to end of samples, set last calculated frequency or duty
    for (i=iPos; i<=cTSamples;i++)
        OutStream[i] = iOutput;
OutStreamObj (OutStream); // Pull calculated output samples to output stream
}
Host.HideProgress(); // Hide progress bar after calculations done
```

Možnosť spracovania signálu až po jeho uložení je výhodná pre diagnostiku sporadických závad, u ktorých je často nutné počas merania realizovať testovaciu jazdu. V čase záznamu tak nie je nutné venovať meraným signálom žiadnu pozornosť, nakoľko k ich spracovaniu dochádza až po skončení merania. Zobrazením zmeny frekvencie, resp. striedy signálu v čase je možné paralelnú diagnostiku rozšíriť o sledovanie zmien signálov bežne nesledovateľných. Navyše je možné zmeny sledovať zároveň pri paralelnom zobrazení ostatných signálov a následne z nich odvodiť logické súvislosti.



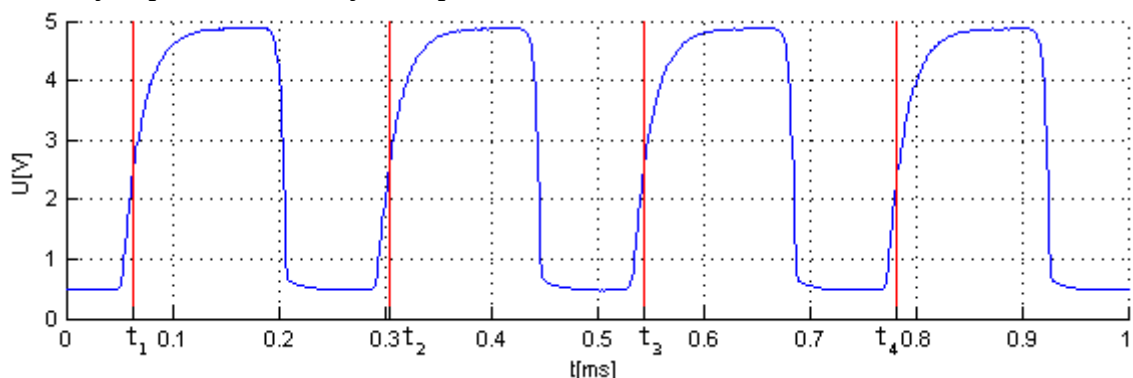
Obr. 28 - Blokový diagram funkcie prevodu parametrov meraného signálu na ich zmenu v čase

6.2.1.2 Voľba vhodnej vzorkovacej frekvencie pre meranie skúmaného signálu

Pre korektnú detekciu trvania periódy signálu je nevyhnutná voľba vhodnej vzorkovacej frekvencie. Základný Shannon-Kotelnikov teorém hovorí o tom, že pre správne zobrazenie vzorkovaného signálu je nutné voliť vzorkovaciu frekvenciu minimálne dvakrát vyššiu, než je frekvencia vzorkovaného signálu. Túto teóriu však nie je možné aplikovať na signály, pri ktorých spracovaní sa sústredíme na malé zmeny v trvaní ich periódy. Vzhľadom na premenlivú striedu, respektíve frekvenciu meraného signálu dochádza k vzájomným posunom okamžiku vzorkovania signálu a signálu samotného. Použitá funkcia FindFront hľadá v množine vzoriek signálu prvú vzorku, ktorá prekračuje zvolené spúšťacie napätie bez ohľadu na aliasing efekt. Môže tak dôjsť k situácii, kedy je počiatočná hrana periódy signálu snímaná s minimálnou odchýlkou, no koncová hrana tej istej periódy signálu je snímaná s oneskorením o dobu trvania jednej periódy vzorkovania signálu. Zmeraná perióda trvania signálu preto má veľkosť skutočnej periódy plus maximálne necelá doba periódy vzorkovania. Je preto nutné vzorkovaciu frekvenciu podriadiť najmenšej meranej zmene trvania periódy meraného signálu, ktorú skript zachytáva. Prevodová charakteristika meraných snímačov navyše nie je známa, preto je vhodné zachytiť čo najmenšie zmeny v meranom signále pre jeho ďalšie spracovanie.

Pre návrh teórie vhodnej voľby vzorkovacej frekvencie bolo realizované meranie odľžnikového signálu merača hmotnosti nasávaného vzduchu typu Delphi AF10183-12B1 používaného vo vozidlách Ford Transit 2,2 TDCi pomocou osciloskopu Texvik DS. Bola zvolená vzorkovacia frekvencia 1,25 MHz tak, aby došlo k detailnému

vzorkovaniu meraného signálu. Následne boli zo signálu odčítané doby trvania niekoľkých po sebe nasledujúcich periód.



Obr. 29 - Výstupný signál merača hmotnosti nasávaného vzduchu Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu s vyznačením nameranej doby trvania periód signálu (červená)

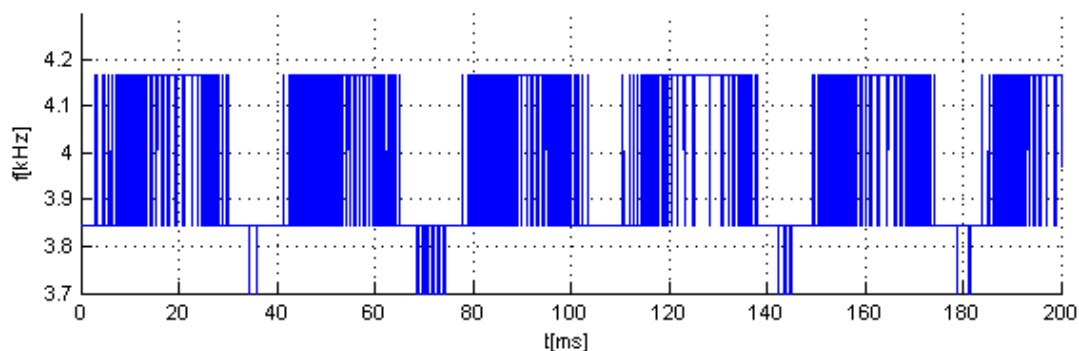
Z grafu na Obr. 29 je možné sledovať signál podkompenzovaného vstupu osciloskopu, ktorého kompenzáciu však nie je možné obsluhou ovplyvniť, nakoľko pri meraní osciloskopom Texvik nie je použitá osciloskopická sonda. Za predpokladu, že sa podkompenzovaný vstup chová za každých okolností rovnako však deformácia signálu nemá vplyv na správnu detekciu doby trvania periódy signálu. V Tab. 4 je viditeľný najmenší rozdiel v trvaní po sebe nasledujúcich periód 1 μ s. Obrátenou hodnotou tohto najmenšieho rozdielu získavame najmenšiu vhodnú vzorkovaciu frekvenciu 1 MHz.

Tab. 4 - Odčítanie trvania periód a ich rozdielov z grafu na Obr. 36

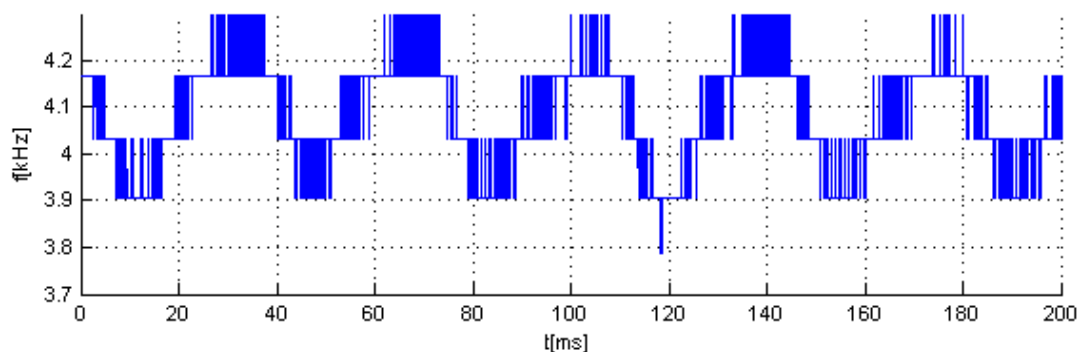
značka	čas [μ s]	perióda $T_n = t_{n+1} - t_n$ [μ s]	rozdiel periód $T_{n+1} - T_n$ [μ s]
t_1	63	241	-1
t_2	304	240	-1
t_3	544	239	-1
t_4	783		

Pre overenie teórie bolo realizované meranie signálu daného snímača pri vzorkovacích frekvenciách 50 kHz, 125 kHz, 250 kHz, 500 kHz a 1,25 MHz. Meranie zmeny frekvencie výstupného signálu snímača je realizované za účelom porovnávania sacích pomerov jednotlivých valcov. Je preto nevyhnutné, aby z výsledného grafu bolo zreteľne možné odlíšiť sací cyklus jednotlivých valcov a prípadne aj jeho detailný priebeh. Zobrazené grafy ukazujú vždy iný časový okamžik pri rovnakých prevádzkových podmienkach, nakoľko nie je možné realizovať meranie zároveň s viacerými rôznymi vzorkovacími frekvenciami osciloskopu. Pri vzorkovacej frekvencii 50 kHz je len veľmi ťažko možné rozoznať pracovný cyklus valcov. Po navýšení vzorkovacej frekvencie na 125 kHz už dochádza k odlíšeniu, avšak bez možnosti sledovania priebehov pre jednotlivé valce podobne, ako aj u 250 kHz. Až pri vzorkovacej frekvencii 500 kHz je možné čiastočne odlíšiť zmeny výstupnej frekvencie spôsobené sacím cyklom jednotlivých valcov a u dvoch valcov identifikovať zníženú

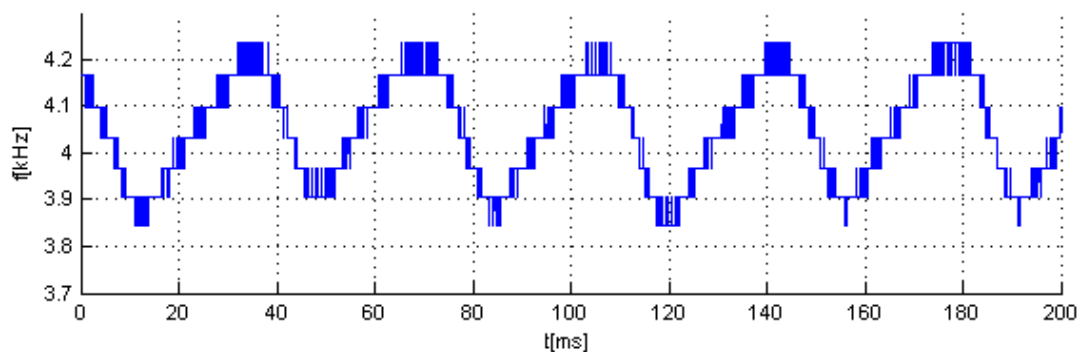
saciu schopnosť. K jasnému odlíšeniu dochádza až pri nastavení vzorkovacej frekvencie na 1,25 MHz, kedy je možné porovnávať aj priebeh signálu počas samotného nasávania vzduchu do valca, nie iba jeho maximálnu a minimálnu hodnotu.



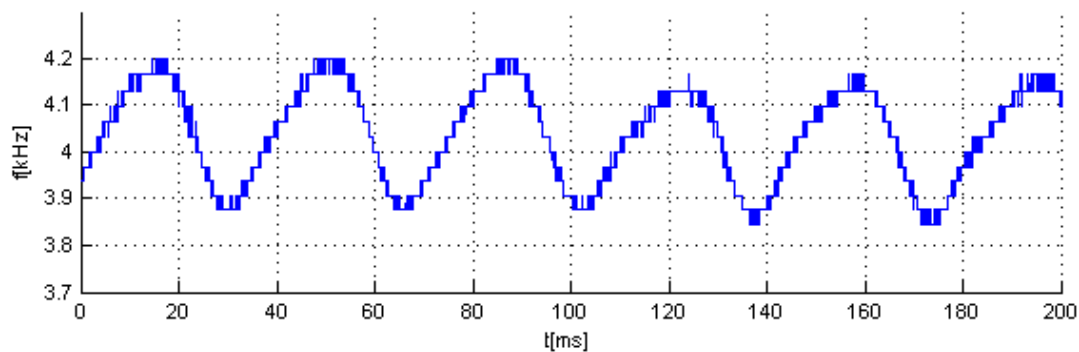
Obr. 30 - Priebeh frekvencie snímača Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu a vzorkovacej frekvencii 50kHz



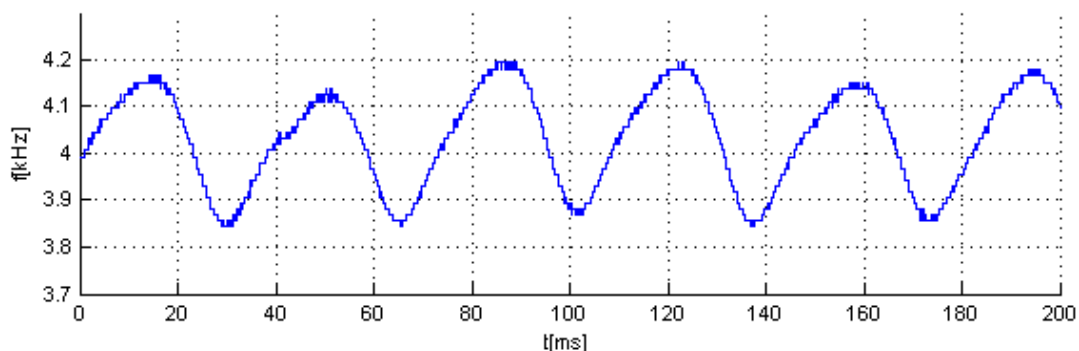
Obr. 31 - Priebeh frekvencie snímača Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu a vzorkovacej frekvencii 125kHz



Obr. 32 - Priebeh frekvencie snímača Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu a vzorkovacej frekvencii 250kHz



Obr. 33 - Priebeh frekvencie snímača Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu a vzorkovacej frekvencii 500kHz



Obr. 34 - Priebeh frekvencie snímača Delphi AF10183-12B1 pri voľnobehu a vzorkovacej frekvencii 1,25MHz

Uvedeným experimentom je možné získať najmenšiu vhodnú vzorkovaciu frekvenciu pre akýkoľvek komponent s neznámou prevodovou charakteristikou, v ktorého signále ale je po spracovaní napriek tomu možné relevantne sledovať prejav mechanickej závady. Naopak nie je možné sledovať aditívnu alebo multiplikatívnu chybu snímača samotného inak, než jeho výmenou a porovnaním priebehov so snímačom iným. Bolo zistené, že pri meraní osciloskopom Texvik je nutné voliť najvyššiu vzorkovaciu frekvenciu 1,25 MHz dostupnú pri použití všetkých 8 kanálov pri meraní komponentov s frekvenčne premelivým signálom.

6.2.1.3 Výpočet chyby konverzie signálu realizovaným analyzačným panelom

Používaný osciloskop umožňuje použitie maximálnej vzorkovacej frekvencie 5 MHz, čomu prislúcha perióda vzorkovania 0,2 μ s, maximálne rozlíšenie zmeny periódy meraného signálu je preto rovnako 0,2 μ s. Pri využití viacerých kanálov osciloskopu dostupná vzorkovacia frekvencia na kanál klesá a pri použití všetkých 8 vstupných kanálov dosahuje 1,25 MHz, čomu zodpovedá trvanie periódy vzorkovania $T_{vz}=0,8 \mu$ s. Pri meraní je preto nutné brať do úvahy aj odchýlku výpočtu spôsobenú týmto rozlíšením, ktoré následne ovplyvňuje rozlíšenie hodnôt konvertovaného signálu. Pre zistenie relevancie merania preto bol realizovaný výpočet presnosti konverzie a relatívnej chyby konverzie spôsobenej rozsahom zmeny frekvencie v Tab. 5 a Tab. 6. Relatívne chyby konverzie dosahujú pri danej vzorkovacej frekvencii radovo maximálne jednotky percent pri frekvenciách meraného signálu nad 10 kHz. Vzhľadom na to, že sú merané signály komponentov s neznámou prevodovou charakteristikou, nie je možné obecné určiť ich praktický vplyv na výsledok merania. Porovnaním dosiahnutej relatívnej chyby v tabuľkách Tab. 5 a Tab. 6 je možné sledovať približne dvojnásobný nárast relatívnej chyby konverzie pri použití vzorkovacej frekvencie 500 kHz.

Vzorový výpočet hodnôt presnosti konverzie pri vzorkovacej frekvencii $f_{vz}=1,25$ MHz pre frekvenciu signálu 10 kHz je nasledovný:

frekvencia meraného signálu:

$$f_{sig} = 10 \text{ kHz} \quad (6.1)$$

doba periódy vzorkovania:

$$T_{vz} = \frac{1}{f_{vz}} = \frac{1}{1250000} = 0,0000008s = 0,8\mu s \quad (6.2)$$

doba periódy meraného signálu:

$$T_{sig} = \frac{1}{f_{sig}} = \frac{1}{10000} = 0,0001s = 100\mu s \quad (6.3)$$

chyba konverzie pri započítaní rozlíšenia spôsobeného vzorkovacou frekvenciou:

$$\delta_{konv} = \frac{1}{T_{sig}} - \frac{1}{T_{sig} + T_{vz}} = \frac{1}{0,0001} - \frac{1}{0,0001 + 0,0000008} = \pm 79,365Hz \approx \pm 79,4Hz \quad (6.4)$$

výsledná hodnota signálu konverzie

$$f_{konv} = f_{sig} \pm \delta_{konv} = 10000 \pm 79,4Hz \quad (6.5)$$

relatívna chyba konverzie

$$\delta_{konv\%} = \frac{\pm \delta_{konv}}{f_{sig}} \cdot 100 = \frac{\pm 79,4}{10000} \cdot 100 = \pm 0,794\% \approx 0,8\% \quad (6.6)$$

Tab. 5 - Relatívna chyba konverzie frekvencie signálu pri vzorkovacej frekvencii 1,25MHz

frekvencia signálu f_{sig} [Hz]	perióda signálu T_{sig} [μs]	chyba konverzie δ_{konv} [Hz]	výsledok konverzie f_{konv} [Hz]	relatívna chyba konverzie $\delta_{konv\%}$ [%]
1000	1000	±0,8	1000 ± 0,8	±0,08
2500	400	±5	2500 ± 5	±0,2
5000	200	±19,9	5000 ± 19,9	±0,4
10000	100	±79,4	10000 ± 79,4	±0,8
20000	50	±315	20000 ± 315	±1,6
30000	33,333	±702,8	30000 ± 702,8	±2,3

Tab. 6 - Relatívna chyba konverzie frekvencie signálu pri vzorkovacej frekvencii 500kHz

frekvencia signálu f_{sig} [Hz]	perióda signálu T_{sig} [μs]	chyba konverzie δ_{konv} [Hz]	výsledok konverzie f_{konv} [Hz]	relatívna chyba konverzie $\delta_{konv\%}$ [%]
1000	1000	±2	1000 ± 2	±0,2
2500	400	±12,4	2500 ± 12,4	±0,5
5000	200	±49,5	5000 ± 49,5	±1
10000	100	±196,1	10000 ± 196,1	±2
20000	50	±769,2	20000 ± 769,2	±3,9
30000	33,333	±1698,2	30000 ± 1698,2	±5,6

Vplyv voľby vzorkovacej frekvencie na reálnu aplikáciu je nutné overiť počiatočným meraním a následnou konverziou signálu pre zoznámenie sa s predpokladanou prevodovou charakteristikou meraného komponentu. Z grafov na Obr. 33 a Obr. 34 je

pri meraní signálu merača hmotnosti vzduchu možné konštatovať, že pri vzorkovacej frekvencii 1,25 MHz je kvalita konverzie zobrazeného signálu dostatočná na jednoznačné rozlíšenie aj samotného tvaru priebehu sacieho cyklu jednotlivých valcov motora. Pri použití vzorkovacej frekvencie 500 kHz je tvar signálu pre vyhodnotenie nevyhovujúci pre jeho obtiažnú čitateľnosť vzhľadom na malé rozlíšenie zmien meranej frekvencie. Problém je spôsobený hľadanými zmenami frekvencie, ktoré sa približujú chybe konverzie. Situáciu pri meraní konkrétneho snímača je možné lepšie popísať porovnaním maximálnej a minimálnej nameranej hodnoty frekvencie pri jej porovnaní s chybou konverzie. Z Obr. 33 a Obr. 34 boli preto odčítané maximálne a minimálne namerané hodnoty frekvencie, pričom ich rozdiel bol v Tab. 7 porovnaný s chybou konverzie zistenej v tabuľkách Tab. 5 a Tab. 6 pre frekvenciu signálu 5000 Hz. Zistené hodnoty relatívnej chyby vzhľadom na rozsah hodnôt popisujú dôvody zhoršenej čitateľnosti grafov pri použití nízkej vzorkovacej frekvencie. Pre vzorkovaciu frekvenciu 500 kHz dosahuje relatívna chyba vzhľadom na rozsah hodnôt až 14,1 %, zatiaľ čo pre vzorkovaciu frekvenciu 1,25 MHz predstavuje 5,7 %. Výpovedná hodnota grafu pri vyššej vzorkovacej frekvencii je preto výrazne vyššia a chyba merania zásadne neovplyvňuje jeho použitie pri paralelnej diagnostike.

Tab. 7 - Relatívna chyba konverzie signálu merača hmotnosti vzduchu vzhľadom na rozsah meraných hodnôt v čase

vzorkovacia frekvencia f_{vz} [kHz]	maximálna frekvencia f_{max} [Hz]	minimálna frekvencia f_{min} [Hz]	rozdiel frekvencií Δf [Hz]	chyba konverzie pre 5 kHz δ_{konv} [Hz]	relatívna chyba vzhľadom na rozsah hodnôt $\delta_{mer\%}$ [%]
1250	4200	3850	350	$\pm 19,9$	$\pm 5,7$
500	4200	3850	350	$\pm 49,5$	$\pm 14,1$

Príklad výpočtu relatívnej chyby merania pre vzorkovaciu frekvenciu $f_{vz}=500$ kHz je: rozdiel frekvencií:

$$\Delta f = f_{max} - f_{min} = 4200 - 3850 = 350 \text{ Hz} \quad (6.7)$$

relatívna chyba vzhľadom na rozsah hodnôt zmeny frekvencie v čase:

$$\delta_{mer\%} = \frac{\delta_{konv}}{\Delta f} \cdot 100 = \frac{49,5}{350} \cdot 100 = \pm 14,143\% \approx \pm 14,1\% \quad (6.8)$$

V automobilovej technike nie sú okrem merača hmotnosti vzduchu bežne používané signály snímačov o vyššej frekvencii, než je prezentovaná frekvencia signálu. Presnosť konverzie pri použití vzorkovacej frekvencie 1,25 MHz je preto vyhovujúca na použitie v paralelnej diagnostike automobilov. V praxi navyše nič okrem kapacity pamäte pripojeného PC nebráni využitiu maximálnej dostupnej vzorkovacej frekvencie.

Obdobne bol realizovaný aj výpočet chyby konverzie pre výpočet striedy meraného signálu. Z praxe je veľkosť frekvencie striedy ovládajúcej akčné členy spaľovacích

motorov maximálne 1 kHz, čomu boli prispôsobené aj hodnoty frekvencie vyhodnocovaných signálov v Tab. 8 a Tab. 9. Príklad výpočtu chyby konverzie striedy signálu bol realizovaný pre vzorkovaciu frekvenciu 500 kHz a frekvenciu obdĺžnikového signálu 250 Hz so striedou 50 %. Chyba merania doby periódy a doby striedy je podobne ako u predchádzajúcich výpočtov daná dobou periódy vzorkovacej frekvencie. Vzťahy 9.1, 9.2 a 9.3 sú pri výpočte rovnaké s rozdielom použitých hodnôt, ďalší výpočet je realizovaný nasledovne:

chyba merania doby periódy a doby striedy:

$$\delta_T = \delta_{str} = \frac{1}{f_{vz}} = \frac{1}{500000} = \pm 0,002ms \quad (6.9)$$

doba trvania impulzu 50% striedy v jednej perióde signálu:

$$T_{str} = T_{sig} \cdot \frac{50}{100} = 2ms \quad (6.10)$$

výsledok konverzie striedy s maximálnou chybou:

$$D = \frac{\tau}{T} \cdot 100 = \frac{2 \pm 0,002}{4 \pm 0,002} = 50 \pm 0,05\% \quad (6.11)$$

relatívna chyba konverzie striedy:

$$\delta_{konv\%} = \frac{\delta_D}{D} \cdot 100 = \frac{\pm 0,05}{50} \cdot 100 = \pm 0,1\% \quad (6.12)$$

Tab. 8 - Relatívna chyba konverzie 50% striedy signálu pri vzorkovacej frekvencii 500kHz

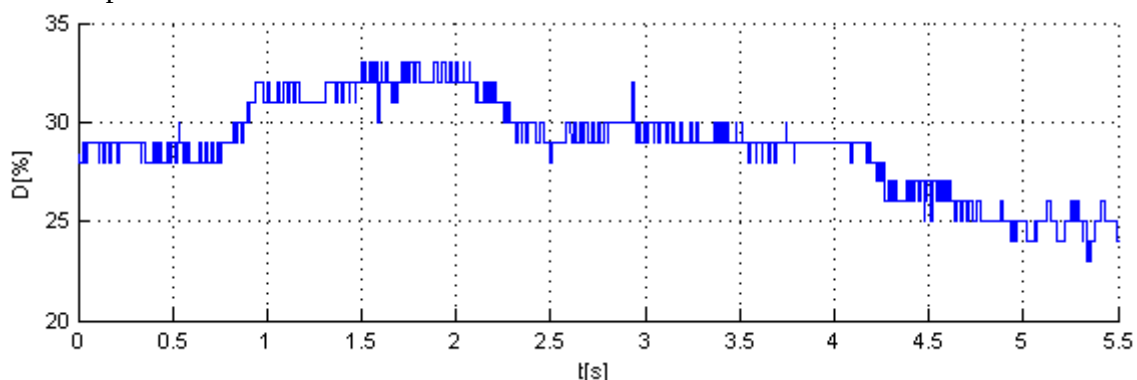
frekvencia signálu f_{sig} [Hz]	perióda signálu T_{sig} [ms]	perióda T_{konv} [ms]	doba pulzu striedy τ [ms]	výsledok konverzie striedy D [%]	relatívna chyba konverzie striedy $\delta_{konv\%}$ [%]
100	10	$10 \pm 0,002$	$5 \pm 0,002$	$50 \pm 0,02$	$\pm 0,04$
250	4	$4 \pm 0,002$	$2 \pm 0,002$	$50 \pm 0,05$	$\pm 0,1$
500	2	$2 \pm 0,002$	$1 \pm 0,002$	$50 \pm 0,1$	$\pm 0,2$
1000	1	$1 \pm 0,002$	$0,5 \pm 0,002$	$50 \pm 0,2$	$\pm 0,4$

Tab. 9 - Relatívna chyba konverzie 50% striedy signálu pri vzorkovacej frekvencii 125kHz

frekvencia signálu f_{sig} [Hz]	perióda signálu T_{sig} [ms]	perióda T_{konv} [ms]	doba pulzu striedy τ [ms]	výsledok konverzie striedy D [%]	relatívna chyba konverzie striedy $\delta_{konv\%}$ [%]
100	10	$10 \pm 0,008$	$5 \pm 0,008$	$50 \pm 0,08$	$\pm 0,16$
250	4	$4 \pm 0,008$	$2 \pm 0,008$	$50 \pm 0,2$	$\pm 0,4$
500	2	$2 \pm 0,008$	$1 \pm 0,008$	$50 \pm 0,4$	$\pm 0,8$
1000	1	$1 \pm 0,008$	$0,5 \pm 0,008$	$50 \pm 0,8$	$\pm 1,6$

Z tabuliek Tab. 8 a Tab. 9 je možné sledovať vývoj relatívnej chyby konverzie striedy, ktorý pre obe zvolené vzorkovacie frekvencie 500 kHz a 125 kHz dosahuje pre meranie vyhovujúce hodnoty. Tie sú maximálne $\pm 0,4\%$ pre vzorkovaciu frekvenciu 500 kHz pri frekvencii meraného signálu 1 kHz a $\pm 1,6\%$ pre vzorkovaciu frekvenciu 125 kHz.

Rovnako ako pri meraní zmeny frekvencie signálu v čase, nie je pri meraní zmeny striedy signálu v čase využívaný rozsah merania, ale iba jednotky percent striedy. Je preto nutné zohľadniť chybu merania vzhľadom na aktuálny meraný rozsah hodnôt a zhodnotiť tak vplyv relatívnej chyby vzhľadom na rozsah hodnôt na výsledky merania. Bolo preto realizované meranie osciloskopom Texvik DS na motore vozidla Iveco Daily F1A 100 kW (Obr. 35) pri vzorkovacej frekvencii 125 kHz pre zistenie rozsahu hodnôt striedy, v ktorých sa meranie pohybuje. Bola zistená veľkosť striedy od minimálne 23 % do maximálne 33 %. Frekvencia ovládacieho signálu s premelivou striedou pri meraní bola 125 Hz.



Obr. 35 - Zmena striedy ovládania dávkovacej jednotky paliva v čase motora Iveco Daily F1A 100kW

Tab. 10 je uvedená relatívna chyba konverzie vzťahovaná na rozsah zmeny striedy meraného signálu a relatívnu chybu konverzie striedy pri frekvencii signálu 100 Hz a vzorkovacej frekvencii 125 kHz odčítanej z Tab. 9. Výpočet relatívnej chyby vzhľadom na meraný rozsah hodnôt je vedený nasledovne:

rozsah striedy meraného signálu:

$$\Delta D = D_{\max} - D_{\min} = 33 - 23 = 10\% \quad (6.13)$$

relatívna chyba vzhľadom na rozsah meraných hodnôt

$$\delta_{\text{mer}\%} = \frac{\delta_{\text{konv}}}{\Delta D} \cdot 100 = \frac{\pm 0,08}{10} \cdot 100 = \pm 0,8\% \quad (6.14)$$

Tab. 10 - Relatívna chyba konverzie striedy ovládania dávkovacej jednotky paliva vzhľadom na rozsah meraných hodnôt v čase

vzorkovacia frekvencia f_v [kHz]	frekvencia signálu f_{sig} [Hz]	minimálna strieda $D_{\min}$ [%]	maximálna strieda $D_{\max}$ [%]	chyba konverzie pre 100 Hz δ_{konv} [%]	relatívna chyba vzhľadom na rozsah hodnôt $\delta_{\text{mer}\%}$ [%]
125	125	23	33	$\pm 0,08$	$\pm 0,8$

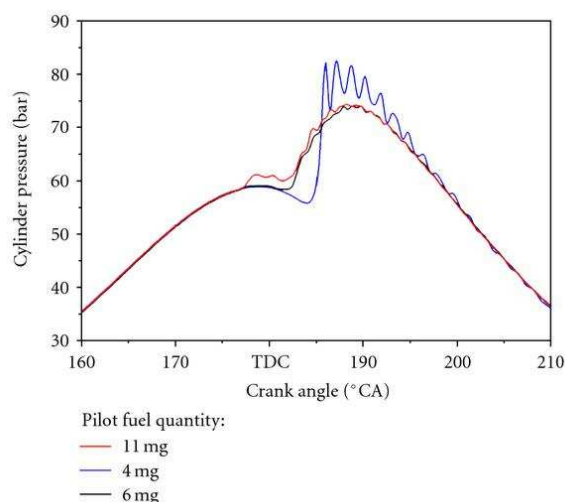
Relatívna chyba vzhľadom na rozsah hodnôt dosahuje maximálne $\pm 0,8$ % z rozsahu hodnôt, respektíve $\pm 0,08$ % striedy meraného signálu. Presnosť merania vzhľadom na rozsah meraných hodnôt a relatívnu chybu konverzie striedy je preto rovnako vyhovujúca pre použitie v paralelnej diagnostike automobilov.

6.2.2 Návrh multitestu signálu otáčok kľukového hriadeľa

Z grafov je často v signále snímača otáčok kľukového hriadeľa obtiažne sledovať rovnomernosť chodu motora, či presný moment výpadku jeho chodu v prípade, že všetky ostatné signály sú zdanlivo bez závady. Práve k momentu počiatku znižovania otáčok kľukového hriadeľa je nutné vzťahovať ostatné signály, v ktorých sa môže nachádzať hľadaná, no nie evidentne viditeľná závada. V niektorých prípadoch vozidiel je možné sledovať rovnomernosť chodu motora zo zmeny veľkosti prúdu generátora. Meraný signál je však často rušený šumom samotného generátora a nie je ho možné relevantne využiť pri diagnostike, ako bude ukázané v praktickej aplikácii.

Moderné vznetrové motory pre zvýšenie efektivity chodu a zníženie ich hlučnosti využívajú ovládanie vstrekovacích trysiek paliva do valcov piezoelementom. To umožňuje veľmi rýchle a presné ovládanie vstrekovania, vďaka čomu je vstrekovávaná dávka paliva rozdelená do niekoľkých malých, takzvaných pilotných dávok počas jediného pracovného cyklu motora nasledovaných hlavnou dávkou paliva. Po vznietení pilotnej dávky paliva je tak zabezpečený plynulý nárast tlaku vo valci s postupným vstrekaním ďalšieho paliva. Pri opotrebení vstrekovacích trysiek dochádza k ich čiastočnému upchatiu a spomaleniu reakcie, čím je ovplyvnená schopnosť dopravovať do valca práve tieto malé dávky paliva. Chod motora tak nie je rovnomerný, hlučnosť je výrazne zvýšená, spolu s nevyhovujúcimi emisnými parametrami a v niektorých prípadoch je závada sprevádzaná aj zhoršeným chodom po naštartovaní. Takéto opotrebenie vstrekováčov navyše nie je možné merať na bežne používaných testovacích zariadeniach, kde sa vstrekovacie javia bez závady. Závislosť zmeny nárastu tlaku vo valci podľa zmeny množstva paliva v pilotnej dávke je možné sledovať na Obr. 36. Červená a tmavomodrá krivka ukazuje priebeh tlaku vo valci pri správne dopravovanej pilotnej dávke paliva, približne 6 až 11 miligramov paliva. Už pri malom poklese na 4 miligramy však vôbec nedochádza k vznieteniu tejto dávky, tlak vo valci preto vzrastie prudko až po vstreknutí hlavnej dávky paliva, čo je sprevádzané hlučným vznietením paliva a nevyváženým chodom motora.

Tieto malé dávky paliva preto majú čiastočný vplyv na priebeh zmeny uhlovej rýchlosti otáčania kľukovej hriadele. Existuje tak predpoklad, že je možné túto závadu diagnostikovať skúmaním rýchlosti otáčania kľukovej hriadele v čase aj bez zdĺhavej demontáže vstrekováčov a ich nerelevantného testovania. Vznikla by tak veľká časová a finančná úspora s veľmi precíznym určením závady.

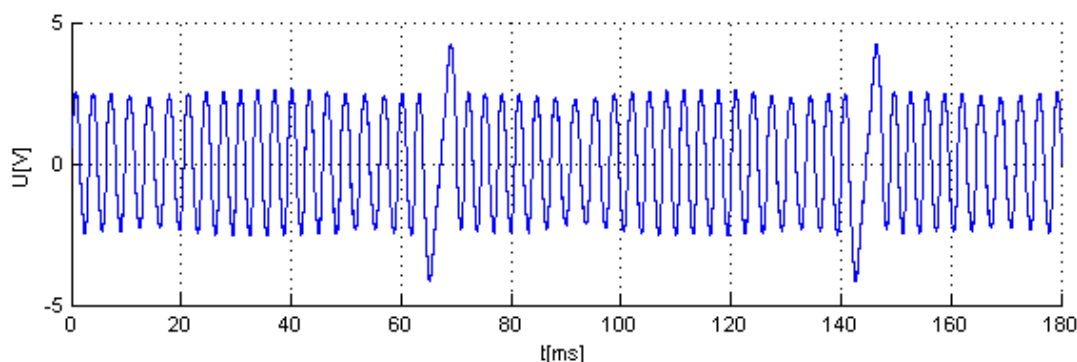


Obr. 36 - Priebeh navyšovania tlaku vo valci vznetrového motora pri zmene veľkosti pilotnej dávky paliva [18]

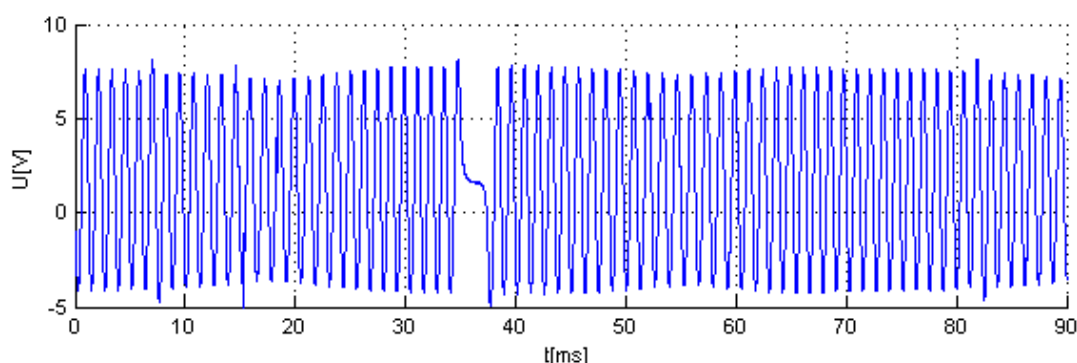
6.2.2.1 Realizácia analyzačného panelu spracovania signálu otáčok kľukového hriadeľa

Uhlová rýchlosť kľukového hriadeľa je snímaná najčastejšie indukčným alebo hallovým snímačom. Pulzný rotor, ktorý je uchytený na kľukový hriadeľ alebo je jeho priamou súčasťou je rozdelený v pravidelných intervaloch tak, aby bolo vzhľadom na požiadavky moderných motorov možné čo najpresnejšie snímať jeho polohu pre precízne riadenie spaľovania. Pulzný rotor má zároveň obvykle jeden alebo dva úseky s neštandardnou medzerou medzi značkami, ktoré u 4-valcových motorov s radovým usporiadaním valcov označujú referenčnú polohu pre riadenie spaľovania.

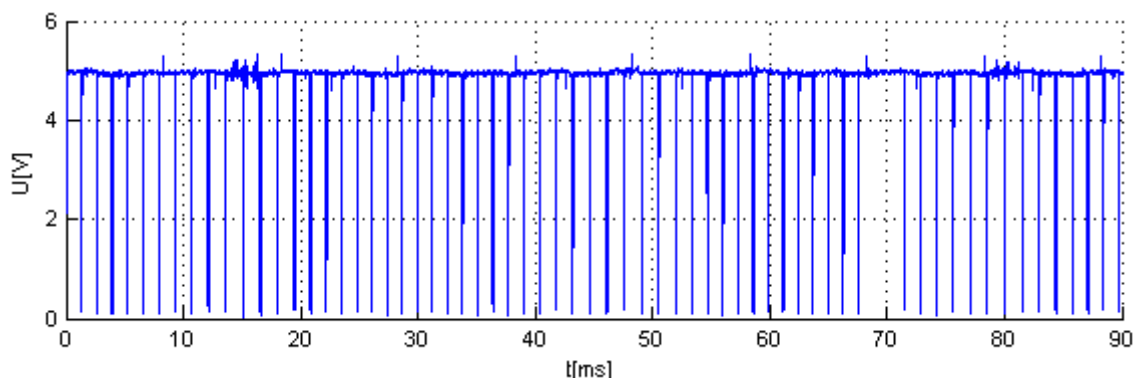
Bolo preto nutné realizovať meranie vzorových signálov osciloskopom Texvik DS pri vzorkovacej frekvencii 1,25 MHz a voľnobežných otáčkach motorov $800 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, ktorých tvaru bude následne prispôbený obecný spôsob spracovania signálu. Pre meranie boli vybrané 3 vozidlá zachytávajúce najčastejšie používané formy pulzných rotorov a snímačov otáčok. Tieto vozidlá sú vybavené vznetrovými 4 a 5-valcovými motormi s použitím piezoelektricky ovládaného vstrekovania paliva do valcov. Prvým vozidlom je Mazda 6 z roku 2002 so vznetrovým motorom 2,0 DI 89 kW RF5C (ďalej ako Mazda 6), na Obr. 37 je uvedený signál indukčného snímača otáčok kľukovej hriadele. Signál je špecifický svojou nízkou frekvenciou spôsobenou veľkými medzerami medzi značkami pulzného rotora. Ďalším vozidlom na Obr. 38 je Ford Transit z roku 2011 so vznetrovým motorom 2,2 TDCi 63 kW P8FA (ďalej ako Ford Transit), ktorého signál indukčného snímača otáčok má približne trikrát vyššiu frekvenciu. Posledným vozidlom je Volvo V60 roku výroby 2011 rovnako so vznetrovým 5-valcovým motorom 2,4 D5 158 kW (ďalej ako Volvo V60), ktoré používa hallov snímač otáčok kľukového hriadeľa a ktorého signál je špecifický vysokou frekvenciou impulzov tvorených úzkymi značkami pulzného rotora, ktorých šírka impulzu je už pri voľnobežných otáčkach motora iba $35 \mu\text{s}$.



Obr. 37 - Signál indukčného snímača otáčok kľukového hriadeľa Mazda 6 2,0 DI 89kW RF5C, 2002

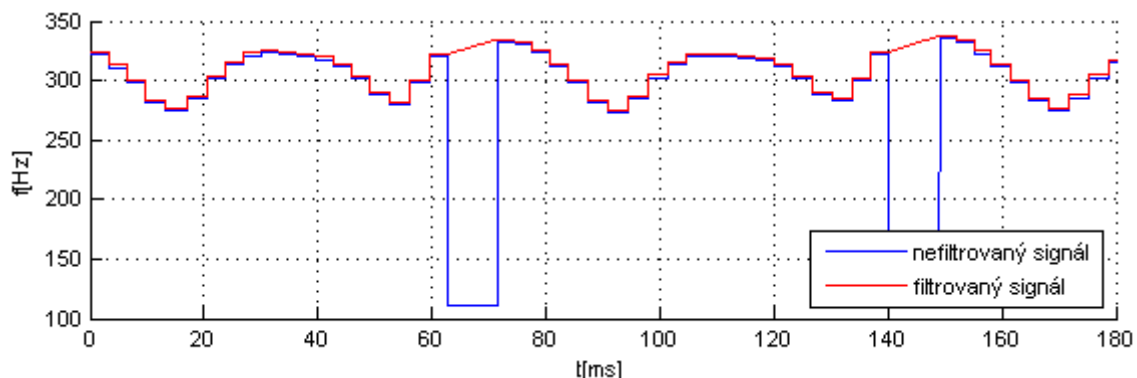


Obr. 38 - Signálu indukčného snímača otáčok kľukového hriadeľa Ford Transit 2,2 TDCi 63kW P8FA, 2011



Obr. 39 - Signál hallovho snímača otáčok kľukového hriadeľa Volvo V60 2,4 D5 158kW, 2011

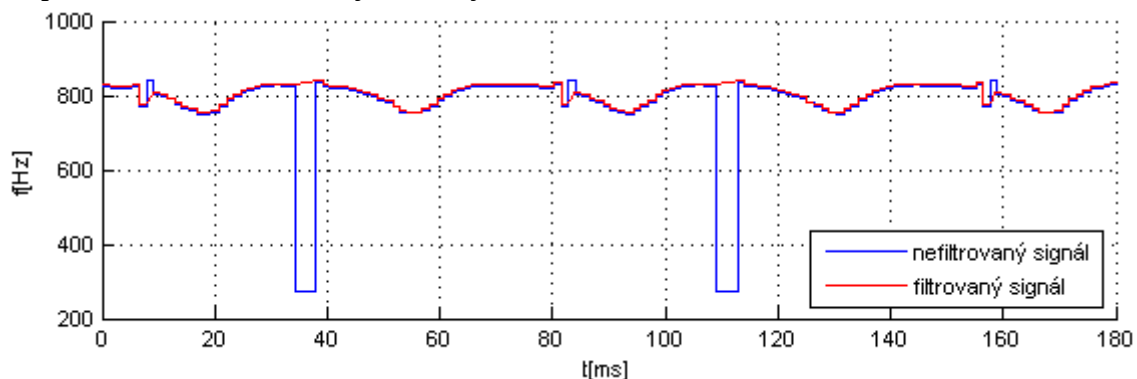
Hľadaná informácia o zmene uhlovej rýchlosti, respektíve otáčkach kľukového hriadeľa je v signáloch prezentovaná vo forme zmeny frekvencie meraného signálu. Použitím panelu Duty_Freq.apn je preto možné signál konvertovať na zmenu jeho frekvencie v čase (Obr. 40, Obr. 41, Obr. 42, modrá krivka). Problematický však je moment výskytu referenčnej značky, kedy z hľadiska výpočtu dochádza k poklesu frekvencie signálu. Ďalej je preto nutná úprava panelu pre vyhodnocovanie otáčok kľukového hriadeľa počas celej jeho otáčky za použitia vhodnej vzorkovacej frekvencie.



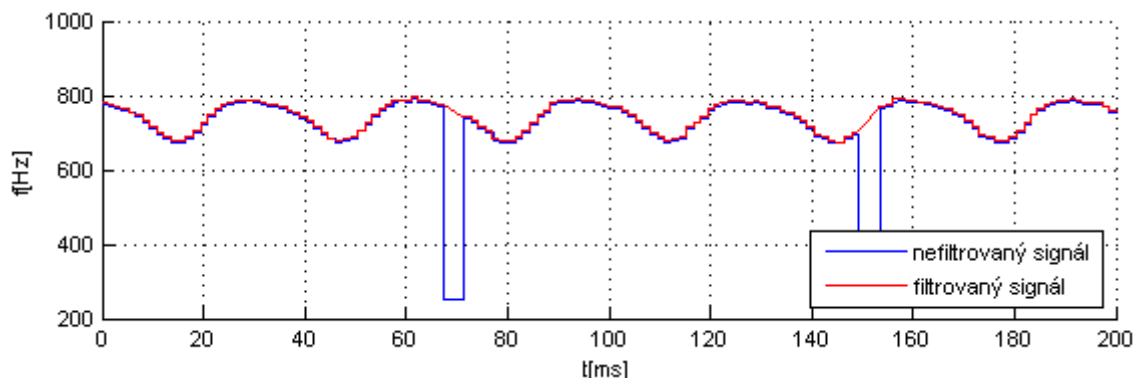
Obr. 40 - Zmena frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa Mazda 6

Bol preto zrealizovaný analyzačný panel Crank_rpm_wrk.apn v prílohe 3 s využitím časti skriptu Duty_Freq.apn týkajúcej sa konverzie signálu na zmenu jeho frekvencie v čase. Počet kanálov pre konverziu bol zmenšený na jeden a bolo nutné preskúmať vplyv voľby vzorkovacej frekvencie na výsledný priebeh konverzie. Časť signálu, kde je zaznamenaný pokles frekvencie bude filtrovaná lineárnou aproximáciou medzi poslednou a najbližšou relevantnou frekvenciou. Na modrých krivkách je možné sledovať mieru zmeny frekvencie signálu, kde pri zvyšovaní alebo znižovaní uhlovej rýchlosti nedochádza k skokovej zmene frekvencie signálu o viac než 22 Hz. Za nerelevantnú bude preto považovaná skoková zmena frekvencie signálu o viac než 60 Hz oproti predchádzajúcej vypočítanej frekvencii. Túto medznú frekvenciu bude možné zmeniť podľa potreby v obslužnom paneli.

Konverziou vzorových priebehov na zmenu frekvencie v čase s filtráciou referenčnej značky pulzného rotora boli zistené priebehy na Obr. 42, Obr. 40 a Obr. 41, červená krivka. Aplikáciou filtrácie tejto skokovej zmeny frekvencie signálu je možné získať pravidelný graf zobrazujúci zmenu frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa, ktorá zodpovedá efektívnosti chodu jednotlivých valcov motora.

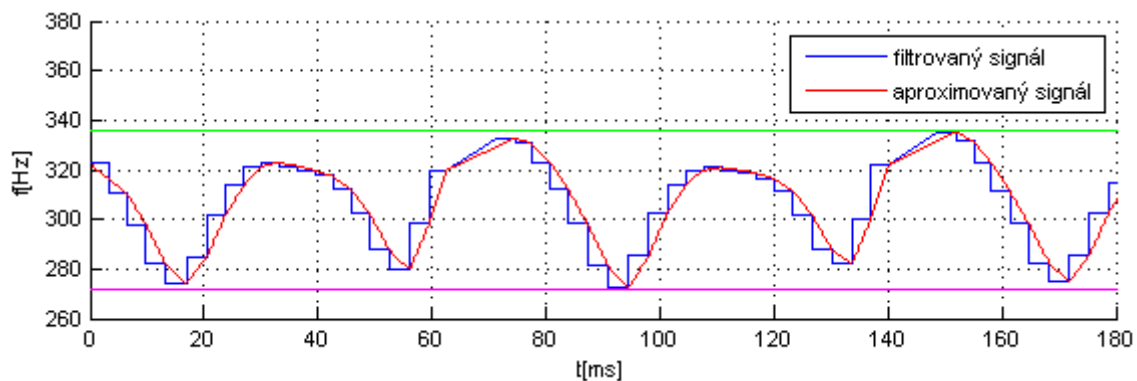


Obr. 41 - Zmena frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa Ford Transit

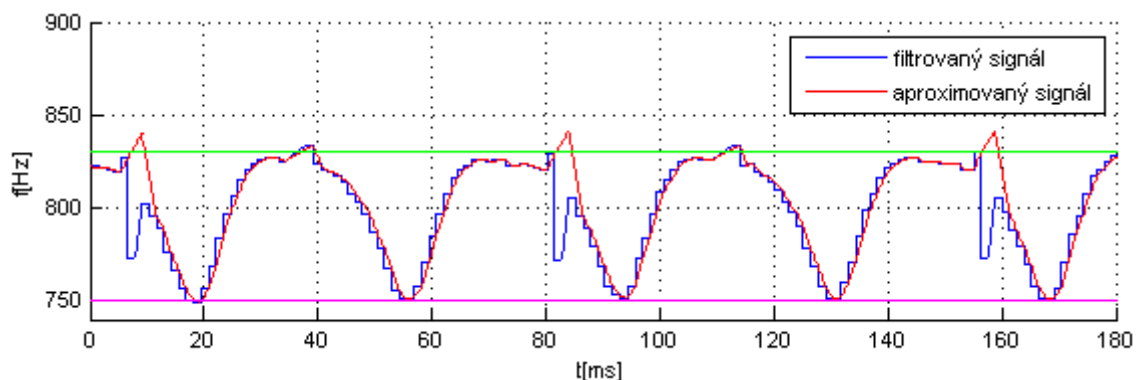


Obr. 42 - Zmena frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa Volvo V60

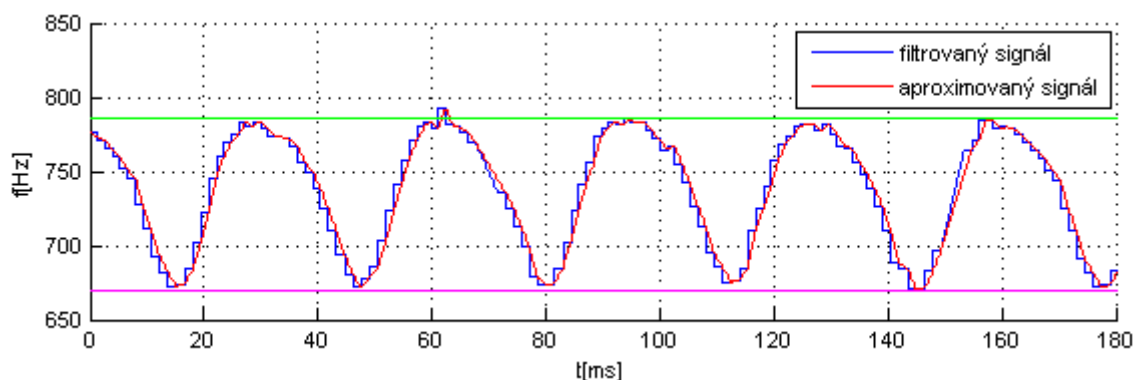
Signály je pre ďalšie použitie vhodné lineárne aproximovať medzi všetkými nájdenými zmenami frekvencie pre ich neskoršiu analýzu. Tá bude zameraná predovšetkým na nárast tlaku vo valci motora, a teda na oblasť, kedy dochádza k zvyšovaniu otáčok kľukového hriadeľa tesne po vznietení paliva vstreknutím pilotnej dávky paliva až po hlavnú dávku. Pre filtráciu lineárne aproximovaného signálu sa ukázalo ako výhodnejšie sledovanie rozdielov po sebe idúcich smerníc priamky aproximácie, nakoľko diferenciacia frekvencie signálu nemusí znamenať chybu v jej konverzií. V realizovanom analyzačnom paneli je tak možné meniť ako maximálny rozdiel frekvencie dvoch po sebe idúcich konverzií, tak aj maximálny rozdiel dvoch po sebe idúcich smerníc priamky aproximácie. Prednastavená hodnota rozdielu vzoriek frekvencie signálu je 60 Hz, hodnota rozdielu smerníc priamky aproximácie $15 \text{ Hz} \cdot \text{ms}^{-1}$. Aproximáciu signálov vzorových vozidiel je možné sledovať na Obr. 43, Obr. 44 a Obr. 45 pre všetky vozidlá pri prednastavených parametroch panelu s rozdielom spúšťacieho napätia, kde pre indukčné snímače bolo zvolené napätie 0 V predstavujúce približne strednú hodnotu signálu (Obr. 37, Obr. 38) a pre hallov snímač 2,5 V (Obr. 39). Aproximácia prebieha v bodoch známej vypočítanej frekvencie, preto vzhľadom na tvar pulzného rotora u vozidla Mazda, ktorý disponuje malým počtom značiek (iba 23 oproti 58 u vozidiel Ford a Volvo) nebolo možné krivku aproximovať do hladkého priebehu. V grafe na Obr. 44 je možné sledovať špičky v čase $t=10 \text{ ms}$ a potom každých 75 ms spôsobené rozdielom medzery medzi značkami pulzného rotora, ktoré nebolo možné zvolenou metódou filtrovať. Filtrácia nebola možná, nakoľko smernica priamky aproximácie v čase nie je abnormálne vyššia, než v iných, relevantných miestach grafu ($t=20 \text{ ms}$, nárast frekvencie). Rozdiel je pravdepodobne spôsobený mechanickým poškodením pulzného rotora, ktoré však nemá evidentný vplyv na chod motora. Do grafov boli doplnené horizontálne značky, kde zelená je dotyčnicou k maximálne dosiahnutej frekvencii v grafe a ružová je naopak dotyčnicou k minimálnej dosiahnutej frekvencii. Je tak možné odčítať rovnomernosť chodu motora, kde u vozidla Mazda je pozorovateľná značná nerovnomernosť, zatiaľ čo u ostatných dvoch vozidiel nie je rozdiel maximálnych a minimálnych otáčok valcov takmer vôbec pozorovateľný. Táto nerovnomernosť bude ďalej diskutovaná v praktickej aplikácii.



Obr. 43 - Filtrovaný a aproximovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Mazda 6



Obr. 44 - Filtrovaný a aproximovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Ford Transit

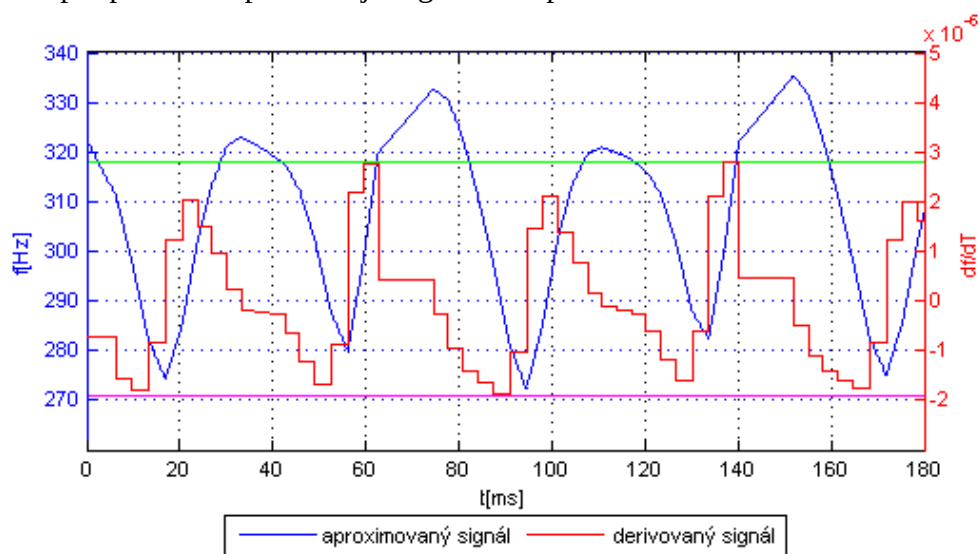


Obr. 45 - Filtrovaný a aproximovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Volvo V60

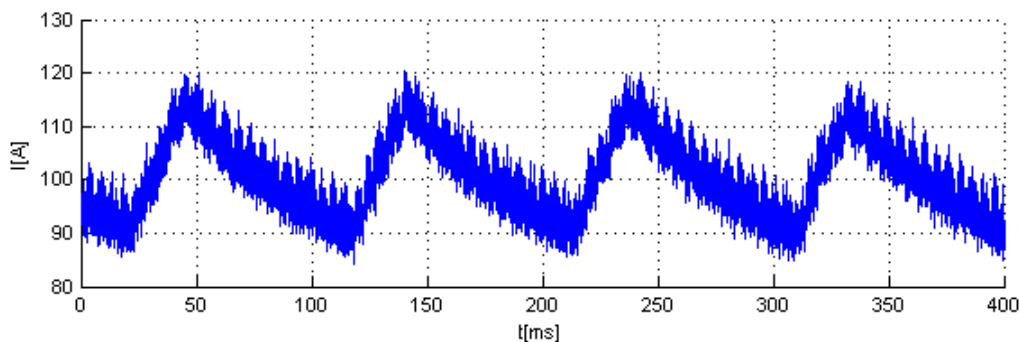
Maximálne dosiahnuté otáčky valcov ale neznamenajú správnu funkciu vstrekovania pilotnej dávky paliva. Korekciou množstva vstrekovaného paliva je možné aj bez nich dosiahnuť relatívne rovnomerný chod motora, avšak uhlové zrýchlenie jednotlivých valcov bude sa bude líšiť vplyvom prudkej dodávky veľkého množstva paliva do valca v jeden moment. Informácia o uhlovom zrýchlení je uložená v ďalšej derivácii získaného signálu v čase, ktorá tak bola za účelom ďalšieho skúmania realizovaná. Grafy boli doplnené o horizontálne značky, avšak sú dotyčnicou k maximálnej hodnote derivácie signálu zmeny frekvencie (zelená) a minimálnej hodnote (ružová). U vozidla Mazda na Obr. 46 bolo zistené obmedzenie spôsobené konštrukciou pulzného rotora, ktoré znemožňuje podrobne analyzovať zmenu frekvencie v čase, respektíve zmenu zrýchlenia uhlovej rýchlosti otáčania kľukovej hriadele. Napriek tomu však je možné

z grafu sledovať patrné rozdiely v kladnom zrýchlení (derivovaný signál v čase $t=20$ ms, $t=59$ ms, $t=98$ ms, $t=137$ ms) o viac, než 20 % spôsobené rozdielnym množstvom vstrekaného paliva do valca. Navyše je možné sledovať aj mieru zmenšovania uhlovej rýchlosti, ktorá zodpovedá kompresnému tlaku vo valci za chodu. Tá dosahuje vo svojom minime pre všetky valce rovnakú hodnotu, minimálna veľkosť frekvencie ($t=55$ ms a $t=133$ ms, modrá krivka), ktorá je vyššia, než u ostatných valcov, preto má súvislosť práve s funkciou pilotnej dávky paliva. Vďaka správnej funkcii vstrekača pri doprave pilotnej dávky paliva preto nedochádza k spomaleniu otáčania kľukovej hriadeľa a tlak vo valci rastie skôr, než je tomu u ostatných valcov motora.

Pre overenie teórie o korelácii záporného zrýchlenia, respektíve zmeny frekvencie signálu snímača otáčok s kompresným tlakom valcov je možné overiť meraním prúdu štartéra, kde vysoký kompresný tlak zodpovedá vysokému odporu kladenému motorom pri štartovaní. Odpojením vstrekačov paliva preto bol zabezpečený stav, kedy bolo možné motorom otáčať pomocou štartéra a prúdovými kliešťami CA1000D merať prúd ním tečúci. Na základe merania na Obr. 47 tak bolo zistené, že kompresné pomery valcov motora sú rovnomerné. Metóda posúdenia kompresných pomerov na základe miery spomalenia otáčania kľukového hriadeľa za chodu sa preto dá považovať za relevantnú pre použitie v paralelnej diagnostike spaľovacích motorov.

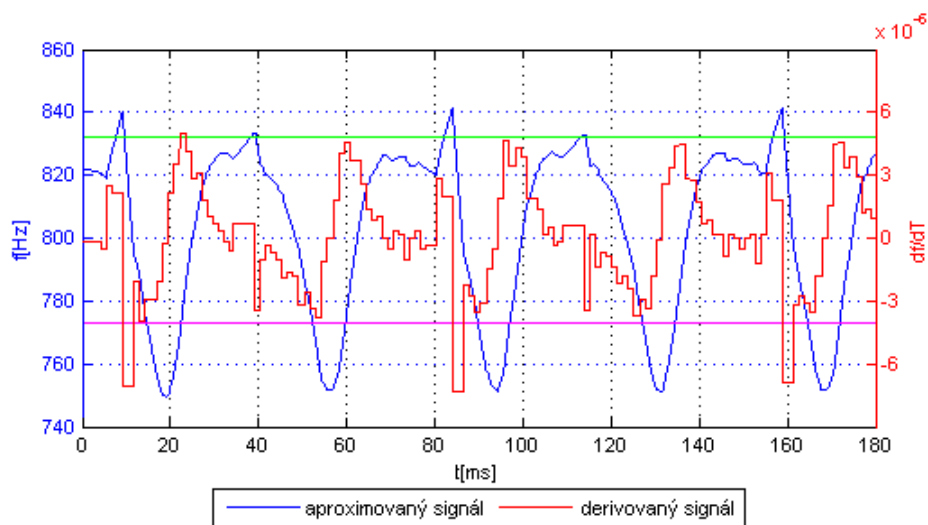


Obr. 46 - Aproximovaný a derivovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Mazda 6

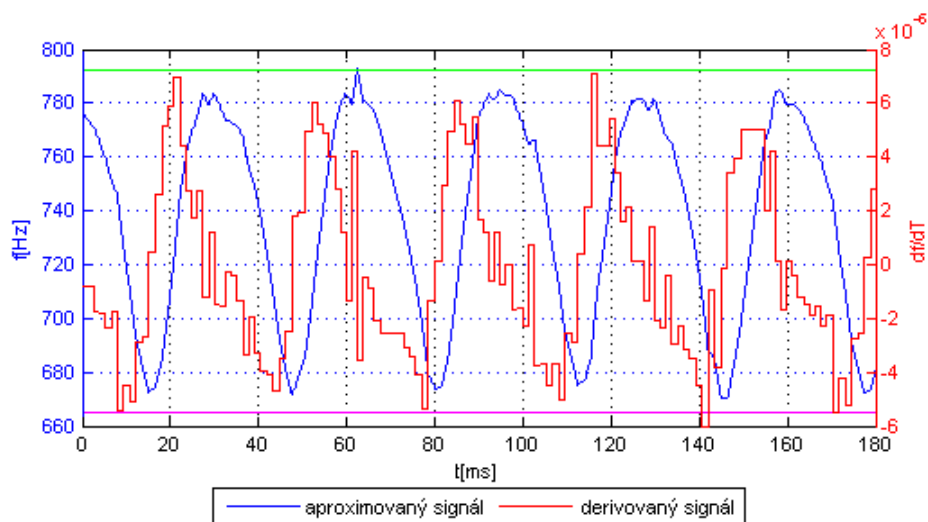


Obr. 47 - Priebeh prúdu štartérom Mazda 6 počas štartovania motora

Deriváciou signálov vozidiel Ford Transit na Obr. 48 je možné sledovať rovnomerný chod motora bez rozdielov kompresných pomerov či uhlového zrýchlenia, zatiaľ čo u posledného vozidla Volvo V60 na Obr. 49 dochádza k značnej nerovnomernosti chodu z hľadiska uhlového zrýchlenia. Zatiaľ čo maximálne dosiahnuté otáčky všetkých valcov sú zhodné, uhlové zrýchlenie kľukového hriadeľa, respektíve derivácia zmeny frekvencie signálu jej snímača otáčok je možné konštatovať rozdiely v kompresných pomeroch do 6 % a rozdiely v uhlovom zrýchlení do 14 %. Toto zistenie zodpovedá mierne nerovnomernému chodu, ktorým síce sú 5-valcové motory charakteristické, no v tomto prípade je nerovnomernosť podporená vadnou funkciou vstrekovačov paliva.



Obr. 48 - Aproximovaný a derivovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Ford Transit

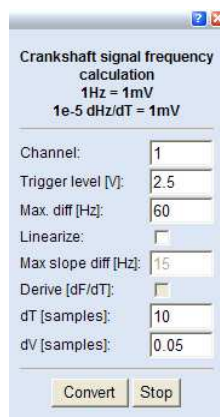


Obr. 49 - Aproximovaný a derivovaný frekvenčný signál otáčok kľukového hriadeľa Volvo V60

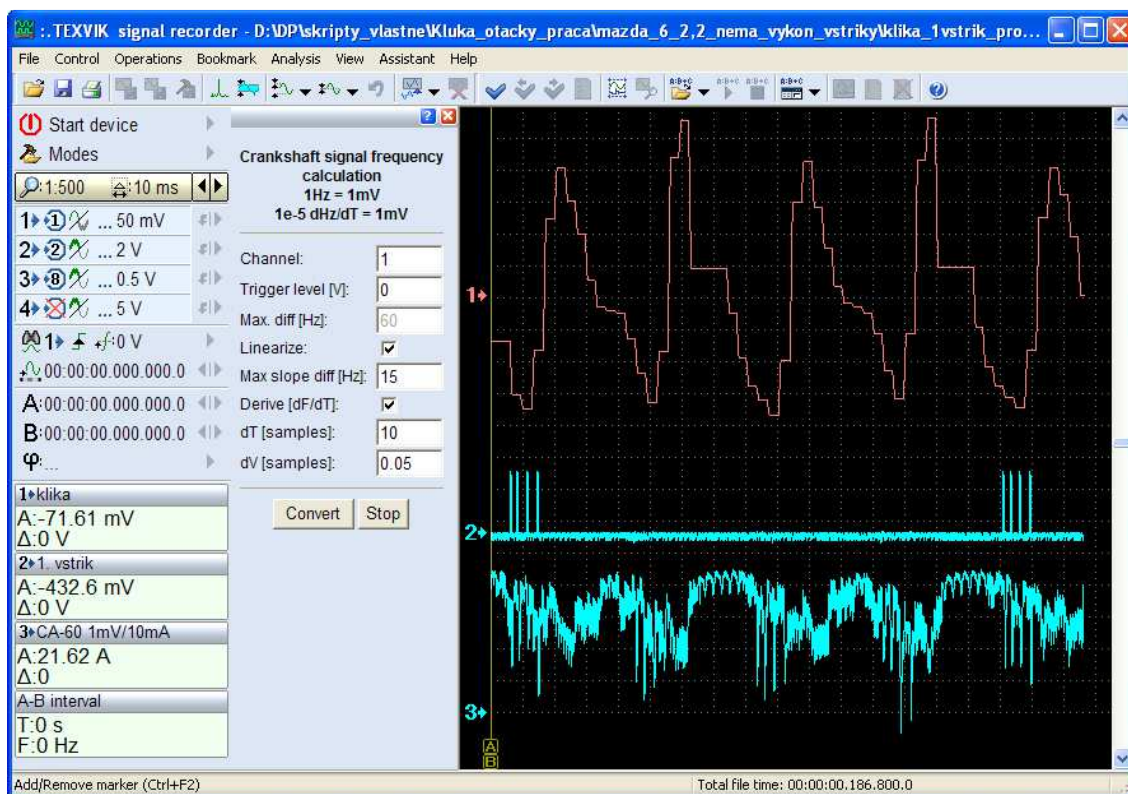
6.2.2.2 Realizovaný analyzačný panel prevodu frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa na zmenu jeho frekvencie v čase s deriváciou

Okno panelu v obslužnom programe je zobrazené na Obr. 50 a Obr. 51, v okne je prístupné nastavenie kanálu, z ktorého je aktuálne spracovávaný signál a jeho spúšťacie napätie pre detekciu hrán. Napätie je nutné voliť podľa tvaru signálu snímača otáčok kľukového hriadeľa. Pre indukčné snímače je vo väčšine prípadov vyhovujúca hodnota spúšťacieho napätia 0 V, pre snímače založené na hallovom princípe 2,5 V. Nevyhnutná je voľba čo najvyššej vzorkovacej frekvencie pre správnu detekciu frekvencie signálu, pričom v praxi vyhovujúca je vzorkovacia frekvencia o veľkosti 1,25 MHz dostupná pri použití všetkých 8 kanálov osciloskopu Texvik. Teória vychádza z výpočtov chyby konverzie frekvencie signálu na jeho zmenu v čase pre predchádzajúci realizovaný analyzačný panel v Tab. 5.

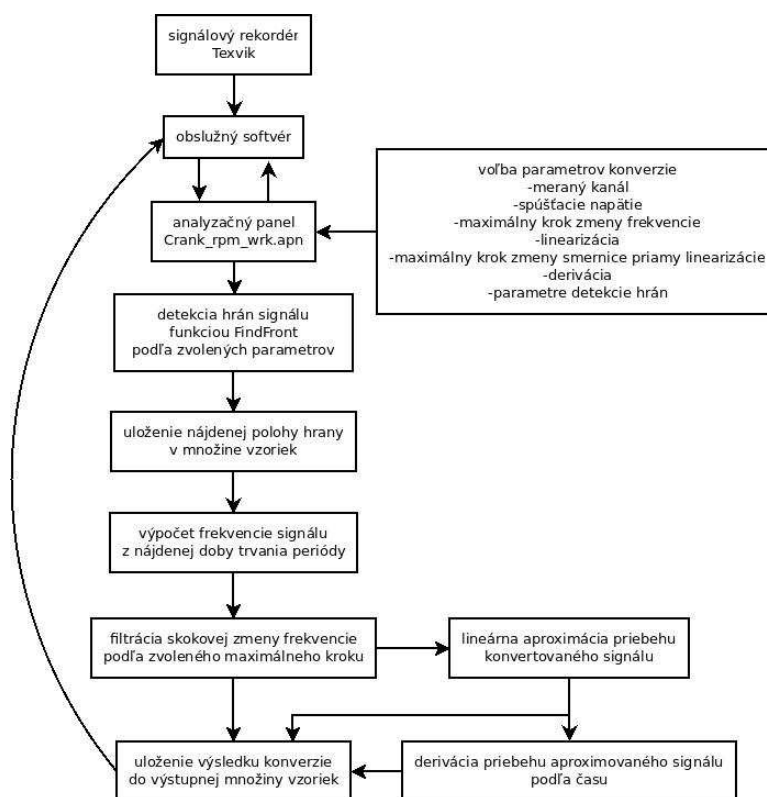
Ďalej je možné nastavenie maximálneho rozdielu frekvencie susedných vzoriek signálu pri prevode na frekvenciu, toto nastavenie je možné navýšiť pri meraní rovnomernosti chodu pri vyšších otáčkach motora, kedy je aj frekvencia spracovávaného signálu logicky vyššia. Voľba linearizácie s možnosťou nastavenia maximálneho rozdielu sklonu smerníc priamky po sebe nasledujúcich umožňuje lineárne aproximovať signál medzi známymi bodmi výpočtu frekvencie signálu. V poslednej časti je možné nastavenie parametrov dT a dV pre detekciu hrán signálu tak, ako tomu je u panelu pre prevod signálov na zobrazenie zmeny frekvencie alebo striedy v čase. Všetky v okne prednastavené parametre, okrem spúšťacieho napätia, boli v praxi otestované a vyhovujú pre meranie väčšiny súčasných spaľovacích motorov ako vznetrových, tak aj zážihových. Prevod signálu meraného pri vzorkovacej frekvencii 1,25 MHz a časovej základni 5 ms/div, kedy je zobrazený časový úsek 304,4 ms meraného signálu vrátane jeho linearizácie, derivácie a následného zobrazenia trvá 8 minút a 25 sekúnd na bežne dostupnom PC, kedy dochádza k spracovaniu 304 tisíc vzoriek signálu v závislosti od veľkosti zobrazeného okna. Na nasledujúcej strane je uvedená komentovaná časť zdrojového kódu časti skriptu zabezpečujúcej výpočty spracovávaného signálu.



Obr. 50 - Analyzačný panel prevodu frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa na zmenu jeho frekvencie v čase s deriváciou



Obr. 51 - Okno softvéru osciloskopu Texvik so zobrazením analyzačného panelu prevodníka frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa



Obr. 52 - Blokový diagram funkcie prevodu signálu snímača otáčok kľukového hriadeľa na zmenu jeho frekvencie v čase s možnosťou lineárnej aproximácie a derivácie

```

while (InStreamObj.FindFront(1, Level, dT, dV)) { // While any matching Raise front is found
iNextPos = InStreamObj.GetPos(); //Get position of Raise Front
if (iPos >= 0) { //If not first Raise front position
    iPeriod = iNextPos - iPos; // Calculate period in number of samples
    iOutput = Math.ceil(10/(iPeriod/Sampling))/10000; // Frequency calculation 1mV = 1Hz
    if (first == 1){ // If first calculation of Period
        if (idLinear.checked != true) { // If linearization is not checked
            // For every output sample from position 0 to iNextPos, set calculated frequency
            for (i=0; i<=iNextPos; i++)
                OutStream[i] = iOutput;
        }
        else { // Save first linearization position and frequency
            iLinLastPos = 0;
            iLinLastFreq = iOutput;
        }
        first = 0; } // Unset first calculation flag
    }
    else {
        if (idLinear.checked == true) { // If linearization is checked
            iStep = (iOutput - iLinLastFreq)/(iNextPos-iLinLastPos); // Calculate step for linearization
            // Check if difference between two right steps is less than written in settings
            if (((Math.abs(iStep) - Math.abs(iStepLast)) < (iSlopeMax/(Sampling/1000)))) {
                // Approximate data from last relevant frequency to beginning of next relevant frequency
                for (i=iLinLastPos; i<=iNextPos; i++)
                    OutStream[i] = iLinLastFreq + (i-iLinLastPos)*iStep;
                iLinLastPos = iNextPos;
                iLinLastFreq = iOutput;
                iStepLast = Math.abs(iStep);
            }
        }
        else {
            // If difference between current and last calculated frequency is more than 60 Hz, save last relevant frequency and position
            if ((Math.abs(OutStream[iPos-1] - iOutput)) > dMaxFreqStep){
                iLastFreq = OutStream[iPos-1];
                iLastFreqPos = iPos - 1;
            }
            else if (iLastFreqPos != -1){ // If there was any previous irrelevant frequency
                // Calculate step of frequency change between two relevant ones
                iStep = (iOutput - iLastFreq)/(iPos-iLastFreqPos);
                // Approximate data from last relevant frequency to beginning of next relevant frequency
                for (i=iLastFreqPos+1; i<=iPos; i++)
                    OutStream[i] = OutStream[i-1] + iStep;
                for (i=iPos; i<=iNextPos; i++)
                    OutStream[i] = iOutput;
                iLastFreqPos = -1; } // Unset flag for irrelevant frequency
        }
        else { // For every other calculations from position iPos to iNextPos, set calculated frequency
            for (i=iPos; i<=iNextPos; i++)
                OutStream[i] = iOutput;
        }
    }
    iPos = iNextPos; // Set position to iNextPos
    Host.SetProgress(iNextPos); // Set progress bar position
}

```



```

if(first != 1)           // For position from last to end of samples, set last calculated frequency or duty
    for (i=iPos; i<=cTSamples;i++){
        OutStream[i] = iOutput;
        if(idDerive.checked == true){
            for (i=0; i<(cTSamples-1);i++){
                OutStream[i] = 100000*((OutStream[i+1] - OutStream[i])/2);
                Host.SetProgress(i);
            }
        }
    }
    OutStreamObj (OutStream);    // Pull calculated output samples to output stream
}
Host.HideProgress();           // Hide progress bar after calculations done

```

Funkciu skriptu zabezpečujúceho spracovanie signálu analyzačným panelom je zjednodušené uvedené v blokovom diagrame na Obr. 52. Množina uložených vzoriek meraného signálu je spracovávaná skriptom, kde detekciu nábežných hrán signálu zabezpečuje funkcia FindFront podľa zvolených parametrov detekcie. Nájdená pozícia hrany signálu v množine vzoriek je uložená a následne použitá pri výpočte doby trvania periódy signálu pri nájdení ďalšej nábežnej hrany v množine vzoriek podľa nastavenej vzorkovacej frekvencie. V závislosti od zvoleného maximálneho kroku zmeny frekvencie signálu je automaticky lineárne aproximovaná časť signálu, kde dochádza k jej prudkému poklesu vplyvom výskytu širokej značky na pulznom rotore. Pre ostatné vypočítané frekvencie signálu je vypočítaná frekvencia zobrazená v grafe v čase medzi dvomi nábežnými hranami signálu, kde je daná frekvencia vypočítaná. Pri voľbe linearizácie signálu je signál hneď lineárne aproximovaný už pri prvom ukladaní jeho vypočítanej frekvencie. Pre filtráciu skokovej zmeny frekvencie signálu bola pre linearizáciu zvolená filtrácia voľbou maximálneho rozdielu smernice priamky aproximácie dvoch po sebe idúcich smerníc priamky. Tá umožňuje lepšiu kontrolu nad skutočným výsledným priebehom signálu, u ktorého sa predpokladá tvar sínusoidy. Derivácia signálu prebieha podľa voľby až po prvotnom spracovaní meraného signálu vrátane jeho linearizácie.

Voľba vhodnej vzorkovacej frekvencie a s tým súvisiaca chyba konverzie zodpovedá výpočtom zisteným pri realizácii analyzačného panelu prevodu parametrov signálu na zmenu jeho frekvencie alebo triedy v čase.

7 REALIZÁCIA MULTITESTOV, MERANIE A SPRACOVANIE DÁT, KOMENTÁRE K MERANIAM, ZHODNOTENIE TESTOV

7.1 Realizácia multitestov meraním dostupných signálov

Metodika multitestu meraním dostupných signálov bola realizovaná pri diagnostike dvoch vozidiel trpiacich sporadickými závadami motora. Pre sériovú diagnostiku bolo využité diagnostické zariadenie Bosch KTS540, pre paralelnú diagnostiku USB osciloskop Texvik DS s nastavením maximálnej dostupnej vzorkovacej frekvencie 1,25 MHz.

7.1.1 Diagnostika závady riadiacej jednotky motora

Prvým vozidlom je Ford Transit roku výroby 2012 osadený motorom 2,2 Duratorq TDCi DRFB1A o výkone 74 kW s riadiacou jednotkou Siemens SID206 s nájazdom 32 tisíc kilometrov. U vozidla dochádzalo k sporadickým výpadkom chodu motora bez ohľadu na jeho zaťaženie a teplotu. Zároveň po výpadku nebolo možné motor krátku dobu asi 5 minút naštartovať.

7.1.1.1 Sériová diagnostika závady riadiacej jednotky motora

Prostredníctvom sériovej diagnostiky Bosch KTS 540 bola vyčítaná pamäť závad riadiacej jednotky motora, kde bolo zistené chybové hlásenie P2291 – tlak paliva pri studenom štarte – tlak príliš nízky, ktoré je ale zapísané až po následnom neúspešnom pokuse o štart po výpadku motora. Vzhľadom na to, že k výpadku chodu motora dochádzalo náhodne, záznamom hodnôt sériovou diagnostikou nebolo kvôli nízkej obnovovacej frekvencii merania 1 Hz možné zistiť, u ktorej z hodnôt dochádza k odchýlke spôsobujúcej zastavenie motora. Zároveň bola po celú dobu výpadku aktívna komunikácia sériovej diagnostiky s riadiacou jednotkou motora. Preto bolo nutné pristúpiť k použitiu paralelnej diagnostiky s možnosťou merania čo najväčšieho množstva signálov, čo umožňuje 8-kanálový osciloskop Texvik DS.

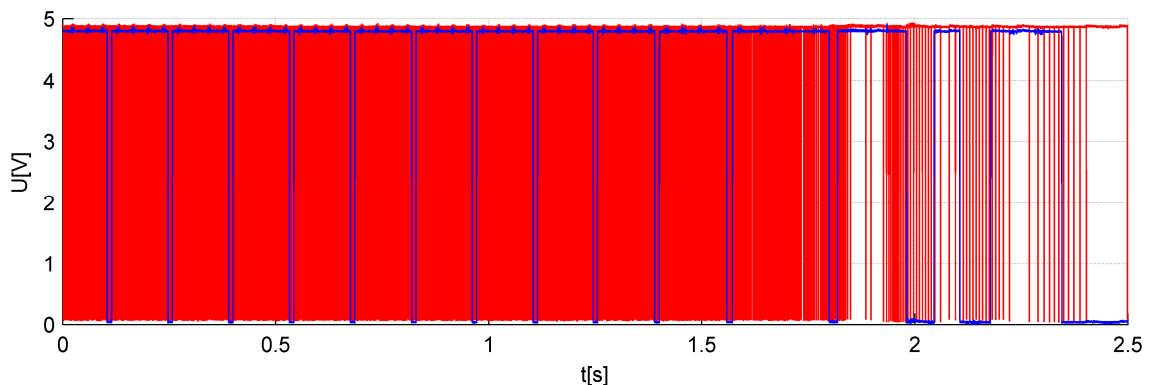
7.1.1.2 Paralelná diagnostika závady riadiacej jednotky motora

Vznetový motor s priamym vstrekováním paliva typu common-rail vyžaduje pre zabezpečenie základného chodu signál snímačov otáčok kľukového a vačkového hriadeľa a stabilný tlak paliva. Po splnení týchto podmienok dochádza k aktivácii vstrekovacích trysiek a naštartovaniu motora. Paralelná diagnostika bola preto započatá meraním niekoľkých signálov:

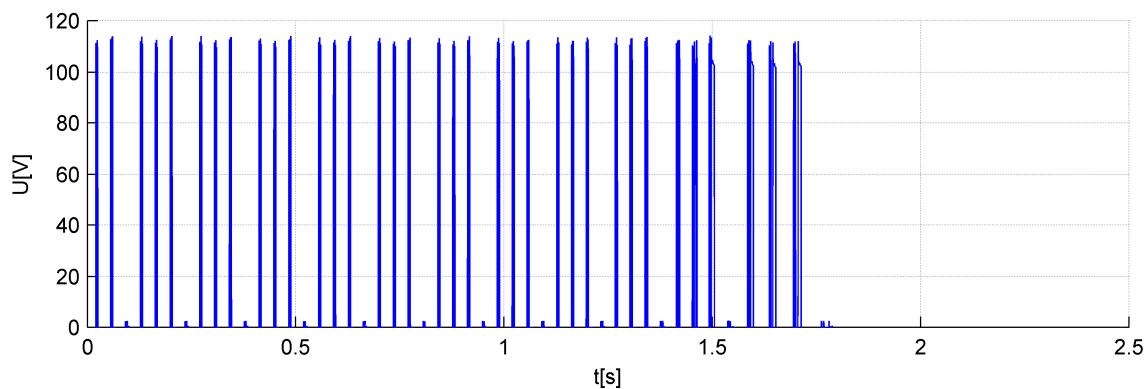
- signály otáčok kľukového a vačkového hriadeľa
- tlak paliva
- napájanie ,aktivácia a prúd dávkovacej jednotky paliva vysokotlakého čerpadla
- aktivácia vstrekoča paliva do 1. valca

Vyhodnotenie nameraných priebehov počas výpadku chodu motora

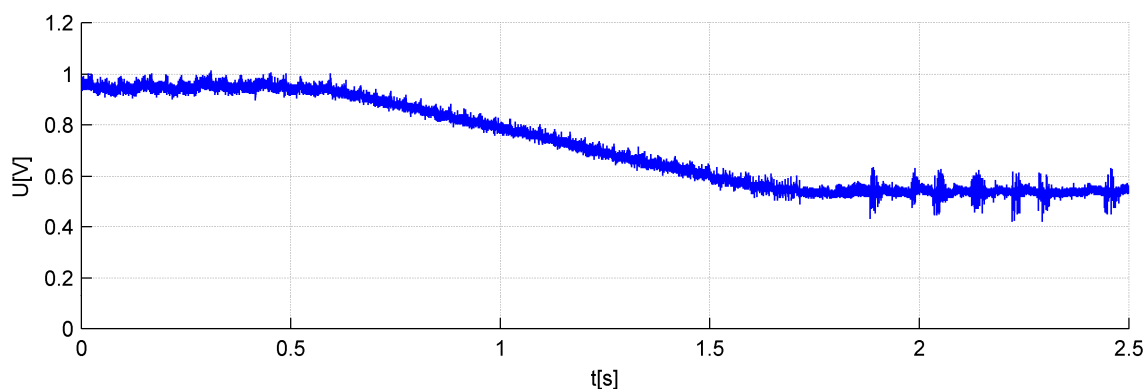
Počiatočným meraním boli zistené základné parametre meraných signálov, kde najkratšie trvajúci impulz signálu otáčok kľukovej hriadele z hallovho snímača predstavoval 32 μ s a ovládacia frekvencia signálu dávkovacej jednotky je 600 Hz. Z čoho bolo možné určiť vhodnú vzorkovaciu frekvenciu 125 kHz pre spoľahlivé zachytenie priebehu snímača otáčok kľukového hriadeľa. Namerané priebehy je možné vidieť na Obr. 54 až Obr. 56, vzhľadom k zvolenej časovej základni pre publikáciu nie je možné detailne zobrazit' na Obr. 53 priebeh signálu snímača otáčok kľukového hriadeľa. Je však patrná nesprávna funkcia snímačov pri nízkych otáčkach hriadeľov v čase $t=1,8$ s a neskôr, ktorá však nemá vplyv na riešenú závalu. K výpadku chodu dochádza približne v čase $t=1,75$ s, kedy je z Obr. 54 vidieť, že došlo k vypnutiu zdroja vysokého napätia napájania vstrekočov paliva. Na Obr. 56 je možné ale sledovať pokles ovládacieho prúdu dávkovacou jednotkou už pri $t=0,55$ s. Zároveň s poklesom prúdu dávkovacou jednotkou začína klesať tlak paliva (Obr. 55), ktorý je spotrebovávaný jeho vstrekováním do valcov. Porovnaním s hodnotami zobrazovanými sériovou diagnostikou bola zistená hodnota napätia 0,55 V pre nulový tlak paliva a 0,95 V pre prevádzkový tlak 300 bar v režime voľnobehu. V čase od $t=0,55$ s do $t=1,75$ s je chod motora zabezpečený iba vďaka zásobe vysokého tlaku paliva. Je preto zrejmé, že k zastaveniu motora nedošlo kvôli úmyselnému vypnutiu vstrekovania, ale kvôli výpadku generátora ovládacej striedy dávkovacej jednotky. Motor do zastavenia chodu vykoná ešte niekoľko pracovných cyklov, kým nedôjde k poklesu otáčok kľukového hriadeľa vplyvom nedostatočného tlaku paliva a vypnutiu vstrekovania paliva. K úplnému odstaveniu ovládania dávkovacej jednotky paliva nedochádza v bežnej prevádzke nikdy, až na vypnutie zapalovania, kedy ale dôjde k vypnutiu ovládacieho signálu vstrekovania zároveň s odstavením dávkovacej jednotky.



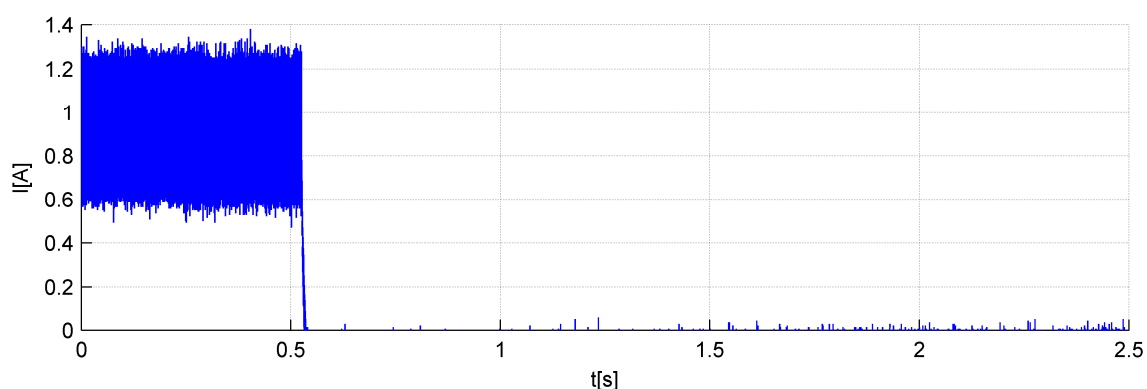
Obr. 53 - Graf priebehu signálov otáčok kľukového (červený) a vačkového hriadeľa (modrý)



Obr. 54 - Graf priebehu spínacieho signálu vstrekováča 1. valca počas výpadku



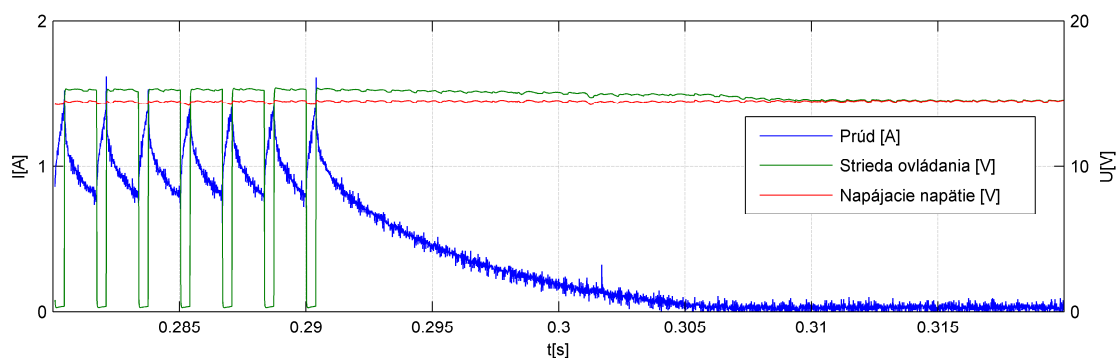
Obr. 55 - Graf priebehu napätia snímača tlaku paliva počas výpadku



Obr. 56 - Graf priebehu prúdu dávkovacou jednotkou paliva počas výpadku

Meranie overujúce zistenú teóriu

V ďalšom postupe preto bolo navrhnuté meranie napájacieho napätia a signálu striedy ovládania dávkovacej jednotky zároveň s prúdom (Obr. 57). Z grafu je zrejmé, že dochádza k výpadku striedy ovládania dávkovacej jednotky. Závada kabeláže medzi riadiacou jednotkou motora a dávkovacou jednotkou bola kontrolou vylúčená, k výpadku preto dochádza v elektronike riadiacej jednotky.



Obr. 57 - Graf priebehu prúdu, napájacieho napätia a ovládacieho napätia dávkovacej jednotky

7.1.1.3 Zhodnotenie diagnostiky, oprava závady

Uvedenú závalu by nebolo možné diagnostikovať použitím sériovej diagnostiky, nakoľko tá poskytla iba informácie o nízkom tlaku paliva, avšak nie o odstavení dávkovacej jednotky. Oprava by preto pravdepodobne bola realizovaná kontrolou kabeláže motora, výmenou dávkovacej jednotky, vysokotlakého čerpadla paliva a vstrekovacích trysiek s neprimerane vysokými finančnými a časovými nákladmi. Na základe nameraných dát preto bola realizovaná oprava výmenou riadiacej jednotky motora. Ešte pred výmenou bola taktiež zistená jej citlivosť na vibrácie vytvorené poklepom na jej obal.

7.1.2 Diagnostika závady snímača otáčok kľukovej hriadele

Druhým vozidlom, pri ktorého diagnostike bola aplikovaná navrhovaná metodika je Ford Focus roku výroby 2007. Vozidlo bolo osadené vznetovým motorom 1,6 TDCi o výkone 80 kW s nájazdom 290 tisíc kilometrov. Vozidlo trpelo zníženým výkonom motora a podobne úplnými výpadkami jeho chodu, bez ohľadu na teplotu a zaťaženie.

7.1.2.1 Sériová diagnostika závady snímača otáčok kľukovej hriadele

Sériovou diagnostikou boli zistené dva chybové kódy:

- P0100 – snímač hmotnosti vzduchu – porucha funkcie
- P0103 – snímač hmotnosti vzduchu – skrat na plus

Ani jedna zo zapísaných závad nemá vplyv na okamžitý výpadok chodu motora. Chybná funkcia snímača hmotnosti nasávaného vzduchu má vplyv na množstvo paliva vstrekovaneho do valcov a teda na reguláciu výkonu motora. Po fyzickej kontrole snímača hmotnosti vzduchu bolo zistené jeho silné znečistenie vplyvom zanedbanej výmeny filtra nasávaného vzduchu. Po jeho vyčistení a výmene filtra došlo k zvýšeniu výkonu motora na štandardnú hodnotu. Počas testovacej jazdy však opäť došlo k úplnému výpadku chodu motora. Po opätovnom vyčítaní pamäte závad riadiacej jednotky motora nebolo zistené žiadne chybové hlásenie.

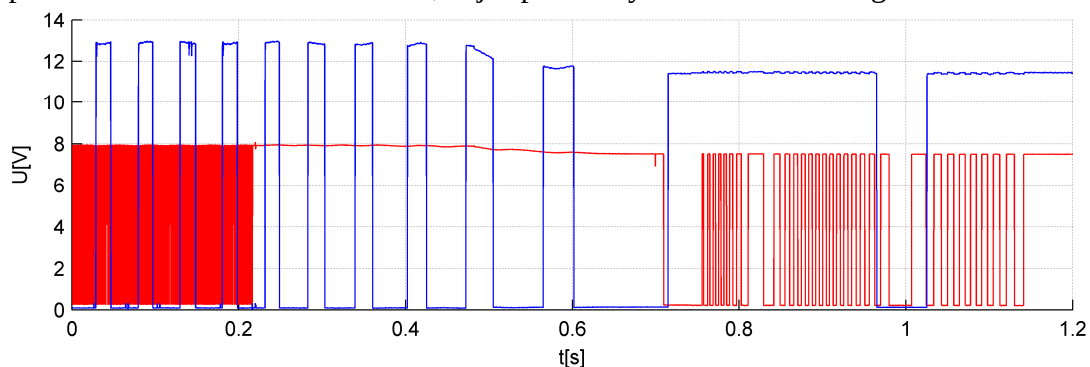
7.1.2.2 Paralelná diagnostika závady snímača otáčok kľukovej hriadele

Aplikovanie paralelnej diagnostiky so správne zvolenými meranými signálmi nevyhnutnými pre zabezpečenie chodu motora bez ohľadu na jeho výkon umožňuje ďaleko komplexnejšiu analýzu závady. Vzhľadom na skutočnosť, že počas výpadku nedochádza k zápisu chybového hlásenia do pamäte závad a spojenie sériovej diagnostiky zostáva neprerušené, boli zvolené signály:

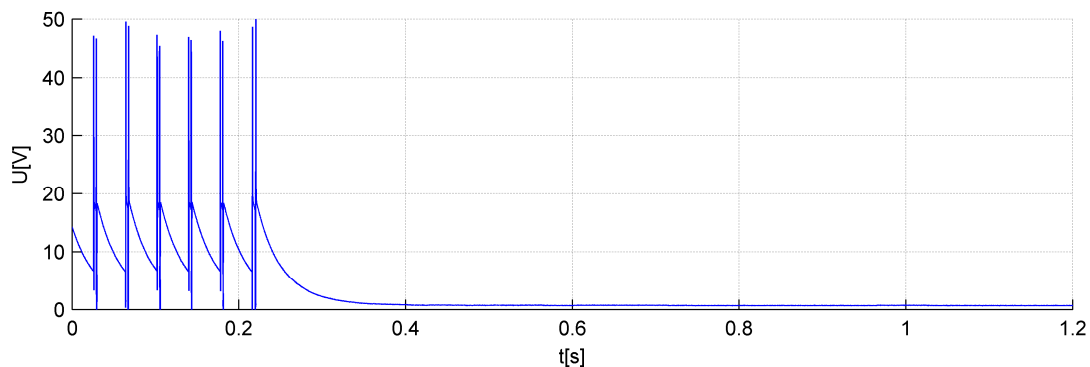
- snímač otáčok kľukového a vačkového hriadeľa
- ovládací signál vstrekovača paliva do 1. valca
- napájacie napätie riadiacej jednotky motora spínané hlavným relé ovládaným samotnou riadiacou jednotkou a napájajúce aj ostatné komponenty motora
- kostiace vodiče riadiacej jednotky motora
- tlak paliva

Vyhodnotenie priebehov nameraných počas výpadku chodu motora

Z grafov priebehov signálov kľukového a vačkového hriadeľa (Obr. 58) je zrejmé, že v čase $t=0,21\text{s}$ dochádza k poruche signálu hallovho snímača otáčok kľukového hriadeľa. Zároveň je možné sledovať neštandardné výstupné napätie hallovho snímača $U=8\text{ V}$ v stave snímania značky pulzného rotora. Zo signálu snímača otáčok vačkového hriadeľa je možné sledovať, že nedochádza k zastaveniu otáčania motora, no vzhľadom na chýbajúci signál otáčok kľukového hriadeľa dôjde v rovnaký moment k vypnutiu zdroja napájacieho napätia vstrekovačov paliva (Obr. 59). Celkový pokles výstupného napätia snímačov otáčok v čase $t=0,5\text{s}$ je spôsobený znížením otáčok generátora.



Obr. 58 – Graf priebehu signálov kľukového (červená) a vačkového hriadeľa (modrá)



Obr. 59 - Graf priebehu signálu napájacieho napätia vstrekovača paliva do 1. valca

Overenie zistených skutočností, oprava závady

Pri pokuse o meranie napájacieho napätia hallovho snímača otáčok kľukového hriadeľa bola zistená silná oxidácia v jeho konektore spôsobená vniknutím vlhkosti. Oprava preto bola realizovaná výmenou snímača otáčok pre poškodenie jeho kontaktov a opravou kabeláže motora výmenou konektora a jeho kontaktov. Po oprave došlo k zvýšeniu hornej hodnoty výstupného napätia na štandardných 12 V až 14 V, respektíve na hodnotu palubného napätia.

7.1.2.3 Zhodnotenie diagnostiky

Uvedenú závalu nebolo možné diagnostikovať použitím sériovej diagnostiky napriek tomu, že z hľadiska vstupných signálov riadiacej jednotky došlo k evidentnému výpadku jedného z dvoch vzájomne súvisiacich signálov. Výpadok jedného z nich môže byť za bežných okolností spôsobený iba deštrukciou rozvodového mechanizmu motora, kde ale dochádza naopak k prvotnému zastaveniu otáčania vačkového hriadeľa. Fakt, že nedošlo k zápisu relevantného chybového hlásenia je možné označiť za zlyhanie vlastnej diagnostiky softvéru riadiacej jednotky motora. Riešenie uvedenej sporadickej závady by bolo bez použitia paralelnej diagnostiky problematické a jedinou možnosťou by bola zdĺhavá fyzická kontrola všetkých komponentov nevyhnutných pre chod motora. Za tie sa dá označiť vysokotlaké palivové čerpadlo, vstrekovacie trysky, snímač tlaku paliva, snímače otáčok kľukového a vačkového hriadeľa, napájacie obvody riadiacej jednotky a jej komponentov.

7.2 Realizácia multitestu s využitím analyzačného panelu prevodu parametrov signálu na ich zmenu v čase

Realizovaný analyzačný panel umožňuje doplnenie funkcie paralelnej diagnostiky o možnosti štandardne obsiahnuté v sériovej diagnostike, kde sú primárne zobrazené hodnoty triedy a frekvencie signálov.

7.2.1 Diagnostika závady vysokotlakého palivového čerpadla vznetrového motora

Možnosti boli aplikované pri diagnostike vozidla Fiat Doblo z roku 2011 osadeným vznetrovým motorom 1,6 MultiJet o výkone 77 kW s nájazdom 38 tisíc kilometrov. Vozidlo trpelo zníženým výkonom motora s úplnými výpadkami v režime zvýšenej záťaže s neprimerane dlhou dobou štartovania.

7.2.1.1 Sériová diagnostika závady vysokotlakého palivového čerpadla

Sériovou diagnostikou bosch KTS 540 boli zistené dva chybové kódy závad:

- P0091 – regulačný ventil tlaku paliva 1 – horná amplitúda signálu príliš vysoká
- P0092 – regulačný ventil tlaku paliva 1 – horná amplitúda signálu príliš vysoká

Chybové kódy poukazujú na prekročenie hornej amplitúdy signálu ovládajúceho regulačný ventil tlaku paliva. Inak povedané by malo ísť o prekročenie veľkosti striedy ovládajúcej daný regulačný ventil. Tento motor však nie je vybavený ventilom regulácie tlaku paliva, ale ventilom ovládania dávky paliva nasávaného vysokotlakým čerpadlom. V ďalšom kroku preto bola navrhnutá skúšobná jazda so zameraním sa na reguláciu tlaku paliva. V zozname možných meraných hodnôt však výrobca vozidla neuvádza možnosť zobrazenia veľkosti striedy ovládajúcej regulačný ventil. Počas skúšobnej jazdy so záznamom hodnôt bol zistený skutočne znížený tlak paliva. Po fyzickej kontrole palivového filtra ten ale nevykazoval žiadne známky zanesenia. V ďalšom kroku preto bolo nutné pokračovať meraním paralelnou diagnostikou.

7.2.1.2 Paralelná diagnostika závady vysokotlakého palivového čerpadla

Podľa schémy zapojenia je vozidlo vybavené elektrickým podávacím čerpadlom, ktoré dopravuje naftu z palivovej nádrže cez filter do vysokotlakého čerpadla. Jeho záhada preto môže spôsobiť zmenšenie množstva paliva nasávaného vysokotlakým čerpadlom a následne zvýšené nároky na reguláciu tlaku paliva.

V meraní preto bolo vzhľadom na fyzickú dostupnosť komponentov zvolených niekoľko signálov:

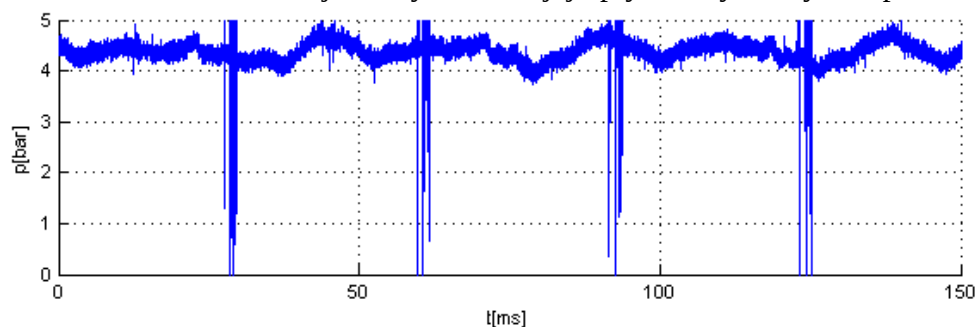
- napätie snímača vysokého tlaku paliva
- otáčky vačkového hriadeľa
- napájacie napätie dávkovacieho ventilu paliva
- ovládacie napätie striedy ovládajúcej dávkovací ventil paliva
- signál aktivácie vstrekovača paliva do 1. valca
- nízky tlak paliva podávacieho čerpadla

Vozidlo nie je vybavené snímačom nízkeho tlaku paliva podávacieho čerpadla, preto bolo nutné použitie externého snímača typu P35KS [15]. Ten svojim maximálnym rozsahom merania -1 bar až +35 bar plne vyhovuje meraniu, nakoľko podľa technických informácií je tlak paliva v nízkotlakom vedení štandardne na úrovni 4bar.

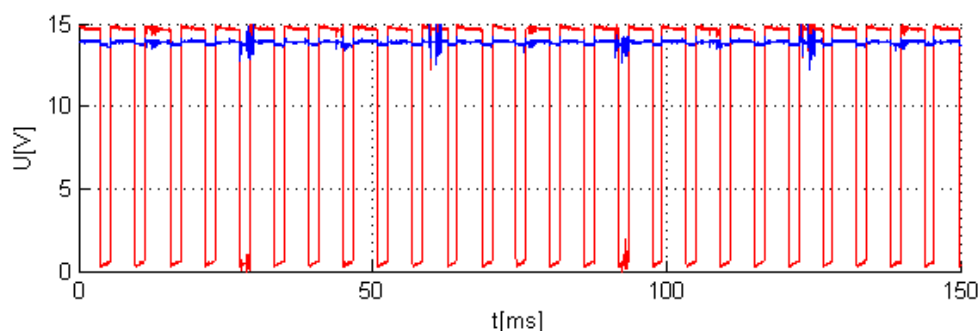
Vyhodnotenie priebehov nameraných pri zvýšenej záťažii motora

Meranie bolo realizované počas jazdy do kopca, kedy sa dajú predpokladať maximálne požiadavky na dodávku paliva a teda aj jeho maximálny tlak. Rušenie v grafoch v čase $t=28$ ms a potom pravidelne každých 32 ms je spôsobené presluchmi medzi kanálmi osciloskopu zo signálu zdroja napájacieho napätia vstrekovacích ventilov do 1. a 4. valca. Z tohto rušenia je možné odčítať otáčky motora približne $1900 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Tlak podávacieho čerpadla paliva (Obr. 60) je počas celej doby jazdy stabilný a dosahuje požadovanú hodnotu minimálne 4 bar, preto je možné vylúčiť závalu

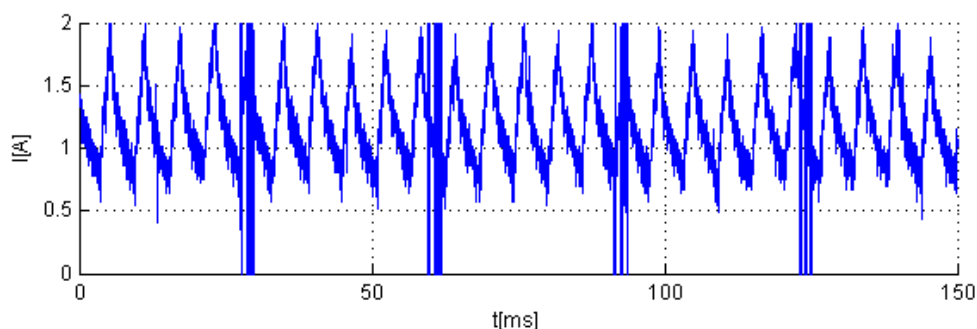
dodávky paliva do vysokotlakého palivového čerpadla. Z grafu zobrazujúceho napájacie a ovládacie napätie dávkovacieho ventilu (Obr. 61) je možné sledovať stabilné napájacie napätie ventilu a stále prítomný signál striedy. Z grafu je možné odčítať frekvenciu ovládacieho napätia $f=180$ Hz, avšak nie hodnotu striedy, respektíve jej zmenu v čase. Podobne ani z priebehu prúdu dávkovacej jednotky paliva (Obr. 62) nie je možné určiť zmenu ovládacej striedy v čase a jej vplyv na výsledný tlak paliva.



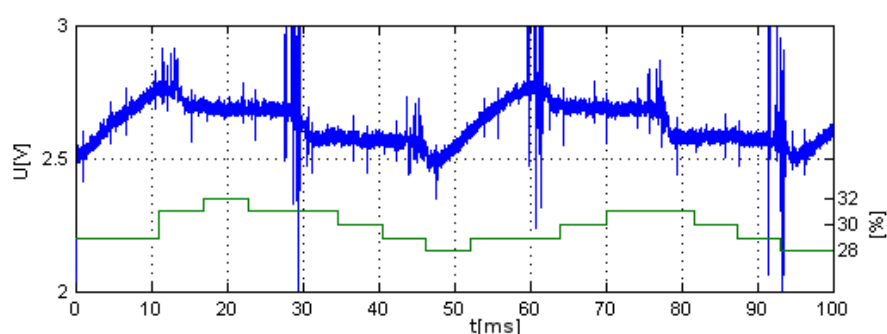
Obr. 60 - Tlak podávacieho čerpadla palivovej nádrže



Obr. 61 - Napájacie napätie (modrá) a ovládacie napätie striedy (červená) dávkovacieho ventilu



Obr. 62 - Prúd dávkovacej jednotky paliva

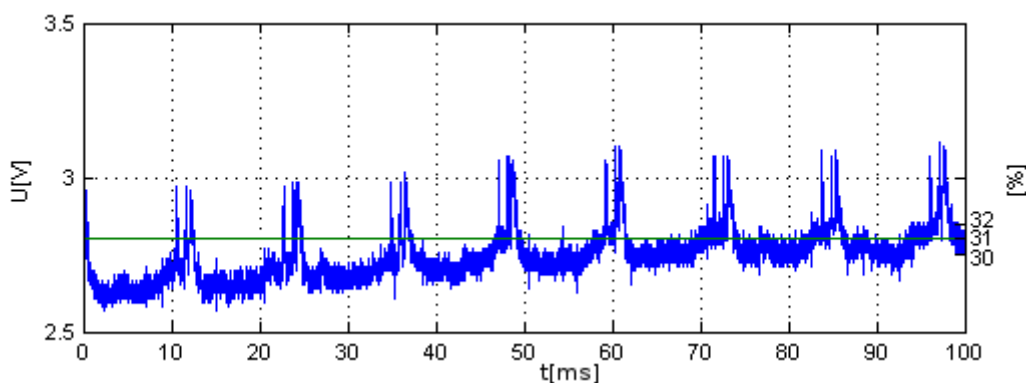


Obr. 63 - Napätie snímača vysokého tlaku paliva (modrá), strieda ovládania dávkovacieho ventilu (zelená)

Využitím realizovaného analyzačného panelu prevodom striedy ovládacieho napätia dávkovacieho ventilu na jej zmenu v čase je možné sledovať zmenu hodnoty striedy v čase a jej vplyv na tlak paliva na Obr. 63. Vozidlo je vybavené 3-piestovým vysokotlakým čerpadlom typu Bosch CP1S3 s prevádzkovým tlakom 1400 bar. Z grafu na Obr. 63 je možné sledovať zmeny striedy ovládania dávkovacieho ventilu paliva vysokotlakého čerpadla vzhľadom k priebehu napätia snímača vysokého tlaku paliva. V čase $t=12$ ms dosahuje napätie snímača tlaku paliva maximum 2,75 V, v zápätí dochádza k poklesu na 2,69 V spôsobenom úbytkom tlaku vplyvom vstrekovania paliva do 2. valca. Situácia sa opakuje v čase $t=30$ ms, kedy dochádza k poklesu na 2,57 V vstrekaním do 1. valca, ďalší pokles na 2,48 V nastáva v $t=45$ ms vstrekaním do 3. valca. Veľký pokles tlaku paliva je kompenzovaný znížením striedy ovládania dávkovacieho ventilu na 28 %. V zápätí dochádza k prudkému nárastu napätia snímača tlaku na 2,8 V dodávkou paliva vysokotlakým čerpadlom. Po zvýšení tlaku paliva dochádza vplyvom pomalej reakcie integračnej zložky regulátora tlaku paliva k jej zvyšovaniu až na 31 %, kedy už ale opäť dochádza k prudkému poklesu tlaku.

7.2.1.3 Zhodnotenie diagnostiky, oprava závady

Ak predpokladáme využitie rozsahu snímača tlaku paliva, kedy pri tlaku 300 bar je hodnota jeho výstupného napätia 1,2 V a pri maximálnom prevádzkovom tlaku 1400 bar 4 V, zmena napätia o 0,32 V zodpovedá pri lineárnej výstupnej charakteristike snímača kolísaniu tlaku paliva o 125 bar. Rozkmitanie regulátora dávkovacieho ventilu paliva a tým aj tlaku paliva je preto spôsobené chybnou funkciou dvoch z troch výtláčnych valcov vysokotlakého čerpadla. Otáčky vysokotlakého čerpadla vzhľadom k vačkovému hriadeľu, respektíve vzhľadom k sekvencii vstrekovania sú o 1/3 vyššie. Je preto nutné, aby počas jednej sekvencie vstrekovania do valcov došlo k štyrom merateľným nárastom tlaku paliva pri konštantnej hodnote striedy. Po výmene vysokotlakého čerpadla je takýto priebeh možné sledovať v grafe na Obr. 64.



Obr. 64 - Napätie snímača vysokého tlaku paliva (modrá), strieda ovládania dávkovacieho ventilu (zelená) po výmene vysokotlakého čerpadla

7.2.2 Zhodnotenie funkcie analyzačného panelu prevodu signálu na zmeny jeho frekvencie a striedy v čase

Realizáciou uvedeného analyzačného panelu konvertujúceho priebeh sínusového alebo obdĺžnikového signálu na priebeh zmeny ich frekvencie v čase, respektíve hodnoty striedy v čase boli značne rozšírené možnosti paralelnej diagnostiky. Boli rozšírené možnosti softvérového spracovania signálov bez nutnosti ich hardvérového spracovania s pevne danými obmedzeniami. Softvérovou realizáciou je umožnené nastavenie konverzie viacerých kanálov zároveň s možnosťou rozdielných konverzií a parametrov jednotlivých kanálov. Rovnako je možné kedykoľvek ľubovoľne spracovať v minulosti merané signály. Zároveň boli realizované výpočty chýb meraní vytvoreným analyzačným panelom pri viacerých podmienkach merania na komponentoch bežne používaných v automobiloch. Bola zistená zvýšená chyba konverzie zmeny frekvencie signálov v čase u signálov o frekvencií nad 5 kHz pri vzorkovacej frekvencii nižšej než 1,25 MHz. Chyba konverzie sa prejavuje hlavne pri meraní signálov, kde dochádza k malým zmenám v ich frekvenciách, pričom tieto zmeny zodpovedajú snímačmi meraným veličinám. Je preto nutné dbať na zoznámenie sa so signálom meraného komponentu ešte pred počiatkom merania skúšobným meraním a následne zvoliť vhodnú vzorkovaciu frekvenciu. Pri výpočtoch chyby merania striedy bola zistená chyba výpočtu striedy do maximálne $\pm 1,6$ % z meranej hodnoty pri vzorkovacej frekvencii 125 kHz a frekvencii meraného signálu 1 kHz. Počas praktického merania ovládacieho signálu ovládania dávkovacej jednotky paliva s premelivou striedou od 23 % do 33 % o frekvencii 125 Hz bola pri vzorkovacej frekvencii 125 kHz zistená relatívna chyba vzhľadom na rozsah meraných hodnôt $\pm 0,8$ %. To predstavuje absolútnu chybu merania striedy $\pm 0,08$ %. Vzhľadom na fakt, že v praxi je možné meranie realizovať vždy pri maximálnej dostupnej vzorkovacej frekvencii 1,25 MHz pri zapojení všetkých 8 kanálov osciloskopu tekvik DS, je presnosť konverzie pre použitie v paralelnej diagnostike závad automobilov vyhovujúca.

Sledovaním zmien striedy, respektíve frekvencie meraného signálu je taktiež možné pozorovať odchýlky vo frekvenciách signálu snímačov otáčok nábojov kolies, kde už malé poškodenie pulzného rotora je sledovateľné v podobe kolísania frekvencie výstupného signálu. Taktiež spracovaním signálov meračov hmotnosti vzduchu s výstupom vo forme zmeny frekvencie signálu zodpovedajúcej prietoku nasávaného vzduchu je možné ďaleko lepšie využitie signálov komponentov už namontovaných bez nutnosti zložitej inštalácie snímačov vlastných.

7.3 Realizácia diagnostiky s využitím analyzačného panelu prevodu frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa s jeho deriváciou

7.3.1 Diagnostika závady vstrekovacích trysiek vznetrového motora

Realizovaný analyzačný panel bol použitý pri diagnostike uvedeného vozidla Mazda 6 z roku 2002 osadeného vznetrovým motorom 2,0 DI 89 kW RF5C s nájazdom 203 tisíc kilometrov. U vozidla bola riešená záhada nevyváženého chodu sprevádzaného silnými vibráciami už od voľnobežných otáčok.

7.3.1.1 Sériová diagnostika závady vstrekovacích trysiek vznetrového motora

Použitím sériovej diagnostiky nebola v pamäti záhad zistená žiadna záhada. Sledovaním aktuálnych meraných hodnôt boli zistené neprimerané korekčné hodnoty vstrekovaneho paliva do valcov. Tá u 3. valca dosahovala až +4,5 mg, pričom štandardne vstrekováná dávka paliva do valca pri jednom pracovnom cykle je 5 mg. To znamená nárast o viac než 90 %, napriek tomu však nedošlo k zápisu chybového hlásenia do pamäte záhad. U ostatných valcov dosahovala korekčná dávka iba štandardnú hodnotu ± 1 mg paliva.

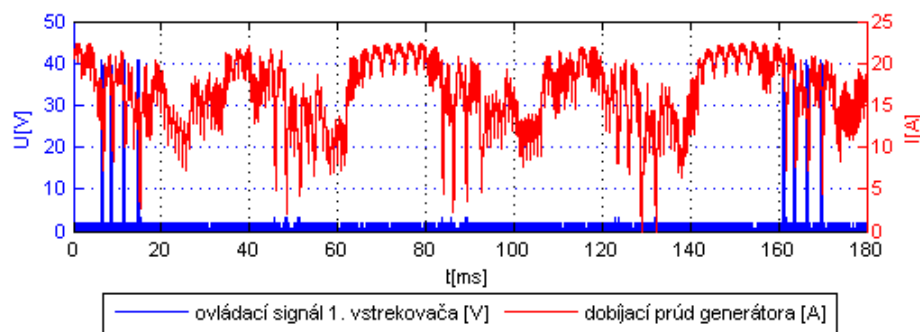
Podľa výsledkov sériovej diagnostiky je záhada spôsobená chybnou funkciou vstrekovaceho paliva do 3. valca.

7.3.1.2 Paralelná diagnostika závady vstrekovacích trysiek vznetrového motora

Pre overenie pravidelného chodu motora bolo navrhnuté meranie prúdu generátora, ktorého otáčky a teda aj výstupný prúd zodpovedajú otáčkam motora a teda aj rovnomernosti jeho chodu a signálu ovládania vstrekovacej trysky paliva do 1. valca pre odlišenie práce jednotlivých valcov.

Vyhodnotenie získaného priebehu prúdu generátora

V grafe na Obr. 65 je možné čiastočne sledovať nerovnomernosť dobíjacieho prúdu generátora v závislosti od točivého momentu jednotlivých valcov generovaného spaľovaním. Z ovládacieho signálu 1. vstrekovaceho je patrné, že u tohto typu vstrekovania a motora dochádza k trom pilotným vstrekom paliva nasledovaným hlavnou dávkou paliva. Je preto možné predpokladať záhadu u 1. a 4. valca motora, avšak výpovedná hodnota grafu nie je dostatočná na presné určenie pôvodu záhady.



Obr. 65 - Meranie prúdu generátora a ovládacieho napätia 1. vstrekača Mazda 6

7.3.1.3 Paralelná diagnostika závady vstrekovacích trysiek vznetového motora s využitím analyzačného panelu prevodu frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa s jeho deriváciou

Pri použití realizovaného analyzačného panelu je pre vyhodnotenie rovnomernosti chodu motora postačujúce meranie signálu snímača otáčok kľukového hriadeľa a signálu ovládania vstrekovacej trysky paliva do 1. valca.

Vyhodnotenie získaného priebehu zmeny frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa a jeho derivácie v čase

Použitím realizovaného analyzačného panelu bola zistená veľká nerovnomernosť chodu u 1. a 4. valca (Obr. 46), čo je v rozpore s hodnotami zistenými sériovou diagnostikou, avšak v súlade so zistením z predchádzajúceho merania prúdu generátora. Z derivovaného priebehu zmeny frekvencie signálu snímača otáčok kľukového hriadeľa bola zistená závada vstrekováčov 1. a 4. valca. Je možné pozorovať až 20 % rozdiel hodnoty derivácie zmeny frekvencie signálu snímača otáčok kľukového hriadeľa v čase.

7.3.1.4 Zhodnotenie diagnostiky, oprava závady

Z experimentu je možné sledovať značné rozdiely medzi výsledkami získaným sériovou diagnostikou, štandardnou paralelnou diagnostikou a paralelnou diagnostikou s využitím realizovaného analyzačného panelu. Zatiaľ čo použitím sériovej diagnostiky je možné vyvodiť záver v podobe závady 3. vstrekovacej trysky, pri použití štandardnej paralelnej diagnostiky je možné čiastočne sledovať závalu u minimálne dvoch valcov motora. Použitím analyzačného panelu je ale možné jednoznačne sledovať rozdiel v maximálnych dosiahnutých otáčkach daných spaľovaním paliva v jednotlivých valcoch motora. Ďalšou deriváciou signálu sa rozdiel v práci valcov znásobuje a je možné sledovať až 20 % rozdiel v hodnote derivácie zmeny frekvencie signálu snímača otáčok.

Nakoľko sa jedná o piezoelektricky ovládané vstrekače, je možná oprava iba ich výmenou za nový kus. Tá ale nebola realizovaná z dôvodu ceny opravy, ktorá prevyšuje obecnú hodnotu vozidla. Vďaka realizovaným meraniam a ďalším spracovaním signálov sa preto predišlo výmene vstrekovacej trysky 3. valca, ktorá ale netrpí žiadnou evidentnou závadou.

7.3.2 Zhodnotenie analyzačného panelu prevodu frekvencie signálu otáčok kľukového hriadeľa na zmenu v čase s deriváciou

Realizovaným analyzačným panelom boli rozšírené možnosti paralelnej diagnostiky o rýchlu a efektívnu metódu diagnostiky predovšetkým vstrekovacích systémov vznetových motorov. Je tak možné bezdemontážne overiť mechanický stav motora z hľadiska tlakových pomerov valcov a správnu funkciu vstrekovačov paliva do valcov. Pri použití analyzačného panelu je nutné nastavenie zdroja signálu vo forme čísla použitého kanálu a spúšťacieho napätia pre detekciu hrán signálu. Signál je možné spracovať do formy zmeny frekvencie v čase s filtráciou značky pulzného rotora, ako aj linearizovať cez známe vypočítané body. Z výsledného grafu je možné sledovať relatívne vzájomné otáčky jednotlivých valcov motora. Následnou deriváciou signálu je možné sledovať mieru zvyšovania uhlovej rýchlosti otáčania kľukového hriadeľa vplyvom vznietenia paliva vo valcoch, ako aj tlakové pomery valcov z miery znižovania otáčok. Použitím analyzačného panelu je tak možné overiť hodnoty zobrazované v sériovej diagnostike, prípadne pokračovať v diagnostike aj v prípade, že pomocou sériovej diagnostiky nie je možné zistiť žiadne údaje relevantné vzhľadom k závade.

Oproti použitiu sériovej diagnostiky alebo aj štandardnej paralelnej diagnostiky spočíva hlavná výhoda v jasne sledovateľných priebehoch, z ktorých je možné jednoznačne vyvodiť správny záver. Doba konverzie signálu nameraného analyzačným panelom pri vzorkovacej frekvencii 1,25 MHz a zobrazení časovej základne 5 ms/div je 8 minút a 25 sekúnd na bežne používanom PC. V porovnaní s fyzickou kontrolou komponentov, ich demontážou a testovaním na skúšobnej stoličnici dochádza k výraznej časovej aj finančnej úspore.

7.4 Zhodnotenie realizovaných meraní a výsledkov diagnostiky

Uvedené prípady demonštrujú použitie paralelnej a sériovej diagnostiky pri riešení sporadických závad spaľovacích motorov. Hlavnou výhodou použitia paralelnej diagnostiky je možnosť s čo najväčšou istotou určiť pôvod závady, prípadne komponent, ktorého sa závada týka. Nie je tak potrebná zdĺhavá fyzická kontrola komponentov, u ktorých sa predpokladá spojitosť s prejavenu závadou. K viditeľnému poškodeniu komponentov ale dochádza iba u malého množstva závad. Poškodenie môže navyše byť tak nepatrné, že si ho mechanik nemusí pri fyzickej kontrole komponentu všimnúť. Paralelná diagnostika preto umožňuje lepšie sústredenie sa na pravý pôvod závady a v neposlednom rade profesionálny prístup k jej vyriešeniu.

8 ZHODNOTENIE OPTIMALIZÁCIE MULTITESTOV S OHĽADOM NA ČASOVÚ A FINANČNÚ NÁROČNOSŤ

Zavedením nových možností paralelnej diagnostiky došlo k značnej časovej aj finančnej optimalizácii diagnostiky závad. Pri meraní signálov s použitím analyzačného panelu prevodu meraného signálu na zmenu jeho parametrov frekvencie a striedy v čase nie je nutné použitie hardvérových prevodníkov. Meraný signál je možné spracovať prevodom na ľubovoľné zobrazenie aj po jeho uložení na rozdiel od hardvérových prevodníkov, kde nie je možné opätovné spracovanie už uloženého signálu. Z časového hľadiska preto nie je nutné opätovné meranie toho istého signálu za účelom zobrazenia jeho iného parametra ako napríklad v situácii, kedy je v signále obsiahnutá informácia v zmene frekvencie a zároveň aj jeho striedy. Táto skutočnosť je mimoriadne výhodná pri diagnostike sporadických závad, ku ktorým môže dochádzať aj veľmi sporadicky a ich zachytenie je z pohľadu času venovaného testovacej jazde náročné. Presné vyčíslenie v takýchto prípadoch nie je možné, no z globálneho hľadiska je prínos realizovaného analyzačného panelu značný. Nemenej dôležitá je cena hardvérového prevedenia prevodníka, ktorý je možné k 10.5.2018 zakúpiť v cene 6776 Kč s DPH [4] so spomenutým obmedzením zobrazenia jedného parametra meraného signálu.

Realizáciou druhého analyzačného panelu boli vytvorené nové možnosti na jasné zhodnotenie rovnomernosti chodu motora z merania veličiny priamo tomu zodpovedajúcej. Doposiaľ najčastejšie používané meranie prúdu generátora poskytovalo nie vždy použiteľné výsledky, ako bolo prezentované v kapitole 7.3.1.2. Moderné vozidlá sú navyše vybavené generátormi s dynamickou zmenou generovaného prúdu, u ktorých z jeho merania nie je vôbec možné posúdiť rovnomernosť chodu motora. Meranie prúdu generátora je k tomu zaťažené ďalšou vloženou dynamikou v podobe pružnosti remeňa, tlmiča jeho kmitov a ďalších agregátov remeňom poháňaných, ktoré sú spolu s generátorom poháňané z kľukového hriadeľa. Ďalším faktorom je možnosť posúdenia uhlového zrýchlenia kľukového hriadeľa zodpovedajúceho funkcii jednotlivých valcov motora. U moderných vznetrových motorov vybavených piezoelektrickým ovládaním vstrekovacích trysiek je tak možné posúdiť ich funkciu predovšetkým z pohľadu správnej funkcie takzvaných pilotných dávok paliva vstrekovaných do valca ešte pred hlavnou dávkou paliva. Tieto malé dávky paliva navyše nie je možné merať testovaním na bežne dostupnej testovacej stoličnej vstrekovacích trysiek. Bežný postup pri takejto diagnostike bol realizovaný demontážou vstrekovacích trysiek a následným otestovaním na testovacej stoličnej, ktorá ale nemusí preukázať jasnú závalu, nakoľko je meraný iba objem paliva vstrekovaný v hlavnej dávke bez ohľadu na objem pilotnej dávky paliva. Radovo hodiny práce venované ich demontáži a spätnej montáži spolu s neúspešným testovaním preto môžu spôsobiť zmenu smeru opravy s neprimerane stúpajúcimi časovými aj finančnými nákladmi.

9 ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo uviesť prehľad v oblasti diagnostiky závad automobilov s prieskumom trhu v oblasti sériovej a paralelnej diagnostiky. Uvedená bola problematika diagnostiky závad automobilov so zameraním predovšetkým na moderné vznetové motory. Uvedené boli základné princípy sériovej diagnostiky s prehľadom používaných diagnostických zariadení v prevedení stand-alone, ako aj vo forme periférie PC. Prebehol výber vhodného diagnostického zariadenia, ktorým je Bosch KTS 540 pre jeho spoľahlivosť a kompatibilitu s modernými riadiacimi systémami vozidiel. Na niekoľkých príkladoch boli prezentované limity tohto riešenia s návrhom doplnenia o paralelnú diagnostiku viackanálovým osciloskopom. Hlavnou nevýhodou sa neukázalo byť diagnostické zariadenie ako také, ale vlastná diagnostika riadiacich jednotiek diagnostikovaných systémov, ktorá často nepopisuje alebo popisuje nekorektne pomerne triviálne závady.

V paralelnej diagnostike boli uvedené riešenia dostupné na trhu s výberom medzi ručnými, stolovými osciloskopmi a tými v prevedení periférii PC. Z dôvodu dlhodobého záznamu meraných signálov, dobrej portability pri meraní vo vozidlách a ďalšieho spracovania nameraných signálov je najvýhodnejšie použitie osciloskopu ako periférie PC. Spomedzi uvedených osciloskopov značiek PicoScope, Auditex a Texvik bol vybraný posledný menovaný pre jeho pokročilé možnosti vlastného spracovania meraných signálov a dobre popísaných spôsobov programovania vlastných analyzačných panelov a skriptov. Súčasne uvedený osciloskop svojimi parametrami plne vyhovuje pre meranie paralelnej diagnostiky v automobiloch a je primárne určený pre toto použitie, čomu nasvedčuje aj jeho robustné prevedenie a množstvo špecializovaných snímačov.

Ako nevyhnutný doplnok pre diagnostiku boli uvedené zdroje dát používaných pri oprave vozidiel vo forme oficiálnych dát dostupných od výrobcov vozidiel na základe blokovej výnimky Európskej Únie 1400/2002. Ďalej boli uvedené informácie od tretích strán, ktoré z dlhodobého a obecného hľadiska predstavujú finančne výhodné riešenie.

Pri realizácii multitestov bolo nutné zoznámenie sa s problematikou programovania v jazyku javascript. Boli navrhnuté a realizované dva skripty dopĺňajúce funkcie paralelnej diagnostiky pre zlepšenie jej celkovej využiteľnosti a zefektívnenie pri práci počas diagnostiky. Bol realizovaný softvérový prevodník meraného signálu na zmenu jeho frekvencie alebo striedy v čase s otestovaním na praktických príkladoch v praxi. Pre overenie relevantnosti použitia a správnej voľby vzorkovacej frekvencie boli realizované výpočty presnosti konverzie realizovaného skriptu, čím bola zistená veľká závislosť od voľby vzorkovacej frekvencie. V praxi ale nič nebráni použitiu dostatočne vysokej vzorkovacej frekvencie, minimálne 1,25MHz, ktorá je dostupná pri použití všetkých 8 vstupných kanálov použitého osciloskopu Texvik DS.

Ďalej bol realizovaný a otestovaný skript využívajúci signál snímača otáčok kľukového hriadeľa pre porovnávanie vzájomných otáčok a uhlových zrýchlení vyvolaných prácou jednotlivých valcov motora. Ako problematická sa ukázala filtrácia

rušivých vplyvov v signále ovplyvňujúca výsledok jeho konverzie na zmenu jeho frekvencie v čase, ktorá bola realizovaná lineárnou aproximáciou s obmedzením parametrov smerníc priamky. Skript bol rovnako otestovaný na niekoľkých vozidlách, z ktorých tri sú uvedené aj v práci. Výsledky výpočtov sa ukázali ako d'aleko relevantnejšie v porovnaní s doposiaľ používanou metódou merania prúdu generátora. Nevýhodou je pomerne časovo náročné spracovanie nameraných dát, ktoré predstavuje 8 minút a 25 sekúnd na štandardne dostupnom PC pri zobrazení časovej základne okna 5 ms/div. Urýchlenie výpočtu by znamenalo realizáciu skriptu v inom programovacom jazyku, avšak za spolupráce s výrobcou osciloskopu a teda obslužného softvéru, aby bola zabezpečená dostatočná kompatibilita. Ďalšie zlepšenie by bolo zaznamenané použitím vlastného pulzného rotora uchyteného na kľukovú hriadeľ, ktorý by mal vyšší počet značiek, než je štandardne zistených maximálne 58 používaných u motora Volvo D5244T11. Rýchlosť zmeny uhlovej rýchlosti by bola zaznamenaná precíznejšie, čo by malo značný vplyv na tvar výsledného derivovaného signálu charakterizujúceho uhlové zrýchlenie alebo spomalenie kľukového hriadeľa.

Z hľadiska časovej a finančnej optimalizácie diagnostických postupov došlo vďaka návrhu nových postupov a analyzačných panelov ich umožňujúcich k značnému šetreniu časového fondu. Nieje tak nutná zdĺhavá demontáž komponentov s ich neistým testovaním na bežne dostupných testovacích zariadeniach. To umožňuje rýchlu a precíznu diagnostiku výhodnú predovšetkým u vozidiel, u ktorých môže nesprávne prevedená diagnostika znamenať nerentabilitu ďalšej opravy vzhľadom na ich obecnú hodnotu.

Každá diagnostická metóda má určité obmedzenia, avšak dá sa tvrdiť, že pri správnom spracovaní signálov získaných paralelnou diagnostikou sú možnosti takmer neobmedzené.

Pri spracovávaní výsledkov meraní do publikácie bol zaznamenaný problém so spracovávaním dát do grafov pomocou tabuľkového procesora pre veľké množstvo dát, ďalšie spracovanie preto bolo realizované pomocou softvéru Matlab.

LITERATÚRA

- [1] Servis a prodej automobilové diagnostiky BOSCH [online]. [cit. 2016-10-09]. Dostupné z: <http://www.diagnostika-bosch.cz/>
- [2] On-board diagnostics. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-10-10]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics
- [3] Launch OEM Dealer Level Car Diagnostics Equipment [online]. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://www.launchtech.co.uk/oem-level-diagnostics/>
- [4] Diagnostic Shop [online]. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://www.diagnostic-shop.cz/>
- [5] Přístroje pro použití s vlastním PC - Sériová diagnostika - Diagnostika [online]. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <https://www.autokelly.cz/Catalog/vse-pro-dilnu-servis-diagnostika-osobni-vozidla-pristroje-pro-pouziti-s-vlastnim-pc/39051195;40133824;43717473;43717478>
- [6] BEDNÁŘ, Marek. Kontrolky v autě: co která značí? [online]. 2015 [cit. 2016-10-16]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/zivot-ridice/kontrolky-v-aute-co-ktera-znaci/>
- [7] Freematics Vehicle Data Logger V4. Freematics - Vehicle telematics made easy with open-source hardware [online]. [cit. 2016-10-25]. Dostupné z: http://freematics.com/store/index.php?route=product/product&path=20&product_id=82
- [8] Manuál TEXA OBDLog. Autodiagnostika [online]. [cit. 2016-10-25]. Dostupné z: https://www.wiki.autodiagnostik.cz/Manu%C3%A1l_OBDLog
- [9] Autonet - nová kvalita výuky [online]. [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: www.net-auto.cz
- [10] Digitální osciloskopy | Ruční osciloskopy | Autodiagnostika | Hantek [online]. [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: <http://www.hantek.cz/>
- [11] PicoScope automotive lab scopes and diagnostic equipment [online]. [cit. 2016-11-12]. Dostupné z: <https://www.picoauto.com/>
- [12] Autodiagnostika Jantolák [online]. [cit. 2016-11-12]. Dostupné z: <http://www.autodiagnostika.jantolak.sk/>
- [13] Osciloskop Texvik DS + rozšířená sada přísluř. [online]. [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <http://www.autokelly.cz/Product/DG-TKDSKIT2/8363426>
- [14] JB-elektronik: vývoj a výroba automobilové diagnostiky [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.jb-elektronik.cz/>
- [15] TEXVIK signal recorder [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.texvik.cz>
- [16] REIF, Konrad a Karl-Heinz DIETSCH. Bosch Automotive Handbook. 9th Edition. Karlsruhe: Robert Bosch, 2014. ISBN 978-1-119-03294-6.
- [17] CA-60 AC/DC mA CURRENT CLAMP OPERATOR'S MANUAL [online]. In: . [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://pdimeters.com/docs/pdf/manuals/CA-60.pdf>
- [18] WAGNER, U., P. ECKERT a U. SPICHER. Possibilities of Simultaneous In-Cylinder Reduction of Soot and NOx Emissions for Diesel Engines with Direct Injection. ResearchGate [online]. 2008, , 13 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/26549925_Possibilities_of_Simultaneous_In-Cylinder_Reduction_of_Soot_and_NOx_Emissions_for_Diesel_Engines_with_Direct_Injection

ZOZNAM PRÍLOH

Prílohy na priloženom CD:

Príloha 1. Dokumentácia spracovania signálov výrobcu Texvik a editačný softvér

Príloha 2. Skript Duty_Freq.apn

Príloha 3. Skript Crankshaft_rpm_wrk.apn