

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra vozidel a pozemní dopravy**



**Bakalářská práce**

**Využití diagnostických signálů v automobilovém sportu**

**Martin Motyčka**

© 2023 ČZU v Praze

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

Technická fakulta

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Martin Motyčka

Technika a technologie v dopravě a spojích  
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Využití diagnostických signálů v automobilovém sportu

Název anglicky

Use of diagnostic signals in motorsport

---

Cíle práce

Cílem bakalářské práce bude popis možnosti využití diagnostických signálů z řídicí jednotky motoru za účelem nastavení vozidla a zlepšení výsledků jezdce.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Přehled řešené problematiky
4. Závěr
5. Seznam použitých zdrojů
6. Přílohy

**Doporučený rozsah práce**

30 – 40 stran

**Klíčová slova**

rychlost, přetížení, otáčky motoru, poloha škrticí klapky, těžiště

---

**Doporučené zdroje informací**

FIRST, Jiří. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1850-5.

HROMÁDKO, J. *Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

WILLIAM F.MILLIKEN a DOUGLAS L. MILLIKEN. Race car vehicle dynamics [online]. 1994. Dostupné z: <https://www.sae.org/publications/books/content/r-146/>

---

**Předběžný termín obhajoby**

2022/2023 LS – TF

**Vedoucí práce**

Ing. Petr Jindra, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vozidel a pozemní dopravy

---

Elektronicky schváleno dne 25. 1. 2022

doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 01. 12. 2022

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci "Využití diagnostických signálů v automobilovém sportu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 23.3.2023

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Petru Jindrovi, Ph.D. za odborné konzultace a týmu Scuderia Praha Racing za poskytnutí dat a manuálům k vozidlům Ferrari 488 Challenge a Ferrari 488 GT3.

# Využití diagnostických signálů v automobilovém sportu

## Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je charakterizovat zpracování a využití dat získaných ze senzorů a řídicích jednotek, konkrétně v závodních vozech. Teoretická část je uvedena přenosem dat, zpracováním signálů a jejich typy. Vysvětlena je zde rovněž činnost nejpoužívanějších typů datových sběrnic. Široký rozsah je zde věnován funkci senzorů používaných v motoristické aplikaci. Dále je nastíněna problematika analytických softwarů pro sběr dat, jejich rozdíly a příklady použití, včetně systému datové telemetrie využívané v nejsostikovanějších závodních speciálech. Praktická část se zabývá detailním rozbohem jízdního výkonu jezdce za účelem jeho zlepšení. Vysvětlena byla změna nastavení podvozku, která znamenala rychlejší čas na kolo a zlepšení jízdního pocitu jezdce. Konkrétní případ byl demonstrován na vozidle Ferrari 488 Challenge, kde dále byla vysvětlena jeho údržba a příprava na závodní podniky a popis dalších analytických systémů vozu. Následně byl obdobně vytvořen popis vozu Ferrari 488 GT3, kde proběhlo i srovnání s dříve zmíněným vozem 488 Challenge. V závěru bylo provedeno zhodnocení datového systému Wintax 4 a systému brzd vozu 488 Challenge, s následným návrhem pro zlepšení, které se očekává od nastupujícího modelu.

**Klíčová slova:** signál, senzor, analýza dat, telemetrie, řídicí jednotka, motoristický sport

# Use of diagnostic signals in motorsport

## Abstract

The purpose of this bachelor thesis is to demonstrate the processing and use of data received from sensors and electronic control units, especially in racing cars. Theoretical part is introduced by data transmission, signal processing and their types. The functionality of the most used types of data buses is also explained. A wide section is dedicated to the function of sensors used in motorsport applications. Furthermore, the problems of data acquisition systems, their variations and examples of their application are presented, including the data telemetry system used in the most sophisticated racing cars. The practical part is focused on the detailed analysis of driver performance in terms of its improvement. Chassis setup changes that resulted in faster lap times and improved driver feeling were explained. A particular case was shown on a Ferrari 488 Challenge car, where the maintenance and preparation for racing events was further explained, as well as a specification of the car's other analysis systems. Subsequently, a similar description of the Ferrari 488 GT3 was presented, where a comparison with the previously mentioned car was also made. Finally, an evaluation of the Wintax 4 data system and the 488 Challenge's brake system was carried out, followed by a suggestion for improvements expected from the upcoming model.

**Keywords:** signal, sensor, data acquisition, telemetry, electronic control unit, motorsport

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a metodika.....</b>	<b>2</b>
2.1	Cíl práce .....	2
2.2	Metodika .....	2
<b>3</b>	<b>Teoretická východiska a přehled řešené problematiky.....</b>	<b>3</b>
3.1	Přenos dat.....	4
3.1.1	Sériový přenos dat .....	4
3.1.2	Paralelní přenos dat.....	5
3.1.3	Analogový signál .....	5
3.1.4	Zesilovače a filtry .....	6
3.1.5	Digitální signál.....	6
3.1.6	Analogově-digitální převodník.....	7
3.1.7	Vzorkování signálu .....	7
3.1.8	Kvantování signálu .....	9
3.1.9	PWM signál .....	10
3.2	Datové sběrnice silničních vozidel .....	11
3.2.1	Účel palubní komunikace .....	11
3.2.2	LIN Bus .....	13
3.2.3	CAN Bus.....	14
3.3	Senzory.....	16
3.3.1	Rozdělení senzorů z hlediska jejich použití.....	17
3.3.2	Aktivní a pasivní senzor .....	18
3.3.3	Senzory rychlosti .....	19
3.3.4	Aerodynamické senzory .....	21
3.3.5	Senzory polohy .....	22
3.3.6	Akcelerometry .....	23
3.3.7	Senzory teploty .....	25
3.3.8	Senzory tlaku .....	27
3.3.9	TPMS.....	28
3.3.10	System pro měření času.....	29
3.4	Data logger.....	30
3.5	Wintax 4.....	31
3.6	WinDarab .....	32
3.7	VBOX .....	33
3.8	MoTeC T2 Telemetry .....	34



<b>4</b>	<b>Praktická část práce .....</b>	<b>35</b>
4.1	Ferrari 488 Challenge .....	35
4.1.1	Příprava vozu 488 Challenge na závodní podniky .....	36
4.1.2	Využití dat pro změnu nastavení vozu .....	37
4.1.3	Využití palubního videozáznamu .....	38
4.2	Ferrari 488 GT3 .....	38
4.2.1	Příprava vozu 488 GT3 na závodní podniky .....	40
4.2.2	Využití telemetrie .....	41
<b>5</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>1</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1	Sériový přenos dat [59] .....	4
Obrázek 2	Analogový signál [60] .....	5
Obrázek 3	Digitální signál [61] .....	6
Obrázek 4	Vzorkování signálu [62] .....	8
Obrázek 5	Kvantování signálu [62] .....	10
Obrázek 6	Datový rámeček zprávy LIN [16] .....	13
Obrázek 7	Příklad komunikace LIN [16] .....	14
Obrázek 8	Datový rámeček zprávy CAN [21] .....	15
Obrázek 9	Příklad komunikace CAN [21] .....	16
Obrázek 10	Senzor otáček kol [37] .....	20
Obrázek 11	Pitotova trubice [38] .....	22
Obrázek 12	Lineární potenciometr tlumičů (modré táhlo) [41] .....	23
Obrázek 13	Třiosý akcelerometr s detekcí stáčení vozidla [44] .....	24
Obrázek 14	IR senzor pro měření teploty brzdových kotoučů [45] .....	27
Obrázek 15	IR senzor pro měření teploty pneumatik [46] .....	29
Obrázek 16	Systém beacon pro zaznamenávání časů okruhu [47] .....	29
Obrázek 17	Displej Bosch DDU 11 s integrovaným data loggerem [49] .....	31
Obrázek 18	Software Bosch WinDarab V7 [52] .....	32
Obrázek 19	Systém pro záznam onboard videa VBOX HD2 [54] .....	33
Obrázek 20	Schéma telemetrického systému T2 [56] .....	34

## **Seznam použitých zkratk**

A/D – Analog to digital converter  
ABS – Anti-lock Braking System  
ACK – Acknowledgment Number  
CAN – Controller Area Network  
CRC – Cyclic Redundancy Check  
DAS – Data Acquisition System  
DLC – Data Length Code  
ECU – Electronic Control Unit/Engine Control Unit  
EOF – End Of Frame  
ESP – Electronic Stability Control  
FIA – Fédération Internationale de l'Automobile  
GB – Gigabyte  
GPS – Global Positioning System  
GT – Gran Turismo  
HDMI – High-Definition Multimedia Interface  
Hz – Hertz  
ID (PID) – Identifier (Protected Identifier)  
IR – Infrared  
kb/s – Kilobit per second  
kW – kiloWatt  
LIN – Local Interconnect Network  
LVDT – Linear Variable Differential Transformer  
MOST – Media Oriented Systems Transport  
NTC/PTC – Negative Temperature Coefficient/Positive Temperature Coefficient  
PWM – Pulse-width modulation  
RLC – Resistor Inductor Capacitor circuit  
RS-232 (485) – Recommended Standard  
RTD – Resistance Temperature Detector  
RVDT – Rotary Variable Differential Transformer  
S/s – Samples per second  
SCSI – Small Computer System Interface  
SOF – Start Of Frame  
TPMS – Tyre Pressure Monitoring System  
USB – Universal Serial Bus  
V – Volt  
VPN – Virtual Private Network  
WEC – World Endurance Championship  
Wi-Fi – Wireless local area network  
WRC – World Rally Championship  
WTCC – World Touring Car Championship

# 1 Úvod

Automobilový průmysl během své dosavadní existence přináší neustálý vývoj, který produkuje následné inovace. Tyto inovace mají svůj původ mnohokrát v motoristickém sportu. Během závodů a soutěží jsou vozidla vystavována těm nejextrémnějším možným podmínkám. Technika musí snést vysoké závodní tempo. Součásti vozu jsou při tom značně tepelně i silově namáhány. Dále se zde projevují vlivy počasí a v neposlední řadě kolize. Proto v dnešních silničních vozidlech lze objevit několik aplikací, které nejprve našly úspěšné uplatnění v motoristických soutěžích.

Aby závodní technika dokázala vydržet zmíněné podmínky a zároveň byla pro jezdce co nejvíce využitelná, provádí se analýza datových signálů (channels) získaných ze snímačů a řídicích jednotek, kterými je vozidlo vybaveno. V motoristické praxi lze rozdělit analýzu na sběr dat (Data Acquisition System) a telemetrii. Hlavní rozdíl spočívá v době, kdy dochází k datové analýze. Sběr dat probíhá za klidu vozidla, například po příjezdu do depa. Telemetrie poskytuje kontrolu a analýzu dat během jízdy vozidla. Využití má zejména ve vozech Formule 1 nebo u prototypů určených pro vytrvalostní závody.

Tato bakalářská práce má za cíl ukázat využití diagnostických signálů v motoristickém sportu, a to za účelem z hlediska spolehlivosti i výkonnosti vozidla. Jsou zde popsány základy přenosu dat a signálů. Navazující řešená problematika spočívá v popisu druhů snímačů a elektronických komponent, včetně jejich činností, obsažených zejména v závodních vozech. Dále se práce zabývá softwarem určeným pro analýzu dat, konkrétně od výrobců Magneti Marelli, Bosch, MoTeC nebo Racelogic.

Praktická část práce se zabývá ukázkou analýzy dat vozu Ferrari 488 Challenge EVO, včetně jeho následné přípravy na závodní podnik. Analýza dat je provedena v softwaru Wintax 4, kde je nalezen výkonnostní problém, který je poté vyřešen konzultací se závodním jezdce a změnou nastavení neboli setupu vozidla. Následuje kontrola a obsluha vozidla Ferrari 488 GT3, vybaveného systémem T2 Telemetry. S oběma vozidly závodí tým Scuderia Praha Racing.

V závěru jsou shrnuty možnosti analýzy dat a příslušných softwarů zmíněných vozů. Obě vozidla jsou porovnány také z hlediska výkonnostních parametrů a obsluhy či přípravy na jednotlivé závodní podniky.

## 2 Cíl práce a metodika

### 2.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je popsat elektronické komponenty závodních vozů, které poskytují diagnostická data a jejich následnou analýzu pomocí příslušného softwaru. Účelem této problematiky je kontrola správné funkčnosti jednotlivých systémů vozidla včetně pohonné jednotky a ústrojí. Dále je smyslem problematiky vyhodnocení dynamického chování vozidla a jízdního výkonu závodního jezdce.

### 2.2 Metodika

Teoretická rešerše a následné praktické vyhodnocení problematiky. Sběr dat, jejich analýza a změna nastavení vozidla po konzultaci s jezdcem.

Teoretická část práce obsahuje literární rešerši, která popisuje přenos informace a s tím související typy signálů a jejich zpracování. Navazující problematikou je poté vysvětlení funkce jednotlivých snímačů a řídicích jednotek včetně jejich komunikace pomocí datové sběrnice. Porovnání možností a funkcí jednotlivých závodních datových softwarů.

Praktická část práce se zabývá ukázkou softwaru Wintax 4 od společnosti Magneti Marelli s nalezením a vyhodnocením problému v získaných datech. Obdobným způsobem je popsána činnost systému palubních (onboard) videozařízení VBOX od společnosti Racelogic. Nalezený problém v datech se odstraní změnou nastavení podvozku vozidla. Ukázka je provedena na vozidle Ferrari 488 Challenge Evo. Dále vysvětlen význam použití telemetrie k živému sledování diagnostických signálů během vytrvalostního závodu a ukázka telemetrického systému T2 Telemetry, vyvinutého společností MoTeC, kterým je vybaveno vozidlo Ferrari 488 GT3. Oba vozy provozuje český závodní tým Scuderia Praha Racing.

### 3 Teoretická východiska a přehled řešené problematiky

Systém sběru dat (Data Acquisition System – DAS) je jedním z nejdůležitějších systémů pro sledování a analýzu různých parametrů vozu [1]. Systém DAS zpracovává signály fyzikálních, chemických a biologických veličin pomocí snímačů, které následně převádí na veličiny elektrické. Nakonec upravuje signál, ve většině případů, do digitálního formátu pro zpracování dat výstupním zařízením a zaznamenává datové toky pro analýzu a archivaci. Primárním použitím systému DAS je vzájemné porovnávání různých kanálů dat obdržných ze senzorů. Výpočty a analýzy často vyžadují hodnoty z různých senzorů ve stejném časovém okamžiku. Kompletní systém určený pro aplikaci v motoristickém sportu by měl vykazovat spolehlivost a schopnost zaznamenávat data v reálném čase [2].

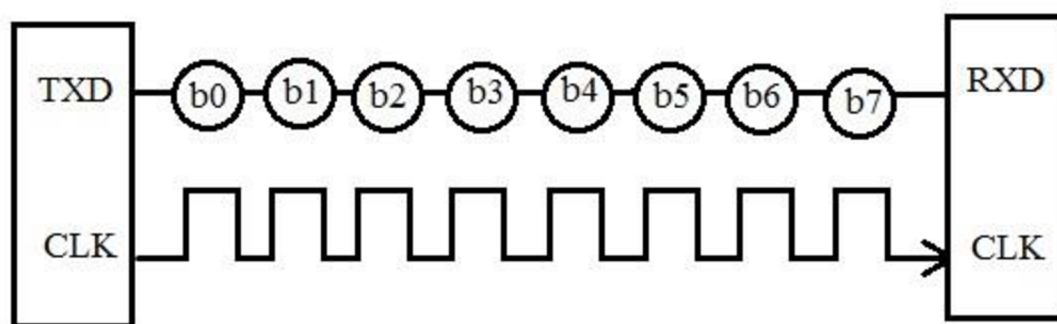
Telemetrii lze definovat jako bezdrátový komunikační proces, který se používá ke sběru dat ze vzdálených nebo nepřístupných bodů a k odesílání získaného datového toku do zařízení, obvykle definovaného jako záznamník dat (data logger) [3]. Termín telemetrie se vztahuje na rádiový přenos dat do boxů pro vzdálené sledování vozidla v reálném čase během závodu a testování. Tyto informace mají pro závodní týmy zásadní význam, protože jejich analýza umožňuje vyhodnotit výkonnost vozu a kontrolovat jeho spolehlivost [4]. Telemetrie se používá v mnoha různých automobilových závodech, například ve formuli 1, mistrovství světa ve vytrvalostních závodech (WEC) nebo mistrovství světa v závodech cestovních vozů (WTCC), kde se jako médium pro přenos dat používá technologie Wi-Fi. Pro spolehlivou funkci je nutné dostatečné pokrytí sítě podél závodní trati [5].

### 3.1 Přenos dat

Informace je kvantitativní ohodnocení nehomogenit v prostoru a čase. Základní jednotkou informace je 1 bit. Uspořádaná osmice bitů se nazývá byte. Každý číselný kód lze převést na binární kód používající 2 symboly, většinou se jedná 0 a 1. Ve všech digitálních elektronických zařízeních jsou informace ukládány a zpracovány pomocí dvojkové soustavy. Data jsou v písemné podobě představována znaky a nesou informace, například slovní popis, číselné údaje nebo i grafy. Souhrnně se tato znaková reprezentace nazývá alfanumerická. Přenos dat se provádí mezi dvěma či více zařízeními v podobě analogového, digitálního či pulzního šířkově modulovaného (PWM) formátu. Metody přenosu jsou sériové a paralelní [6].

#### 3.1.1 Sériový přenos dat

Místo styku a výměny signálů výstupního zařízení, většinou počítače, s periferním zařízením se nazývá rozhraní (interface). Jestliže jsou přenášeny na obou stranách pouze analogové signály, jedná se o analogové rozhraní. Například signál koncového zesilovače do reproduktoru. Pro přenos dat se používá digitální rozhraní. U sériového rozhraní jsou jednotlivé bity přenášeny postupně za sebou. Výhodou sériového rozhraní je možnost delších vodičů. Dále nižší elektrická citlivost kvůli vysokému vstupnímu odporu a menší množství vodičů v kabelu. Typickými zastupiteli jsou USB, RS-232 a RS-485 [6].



Obrázek 1 Sériový přenos dat [59]

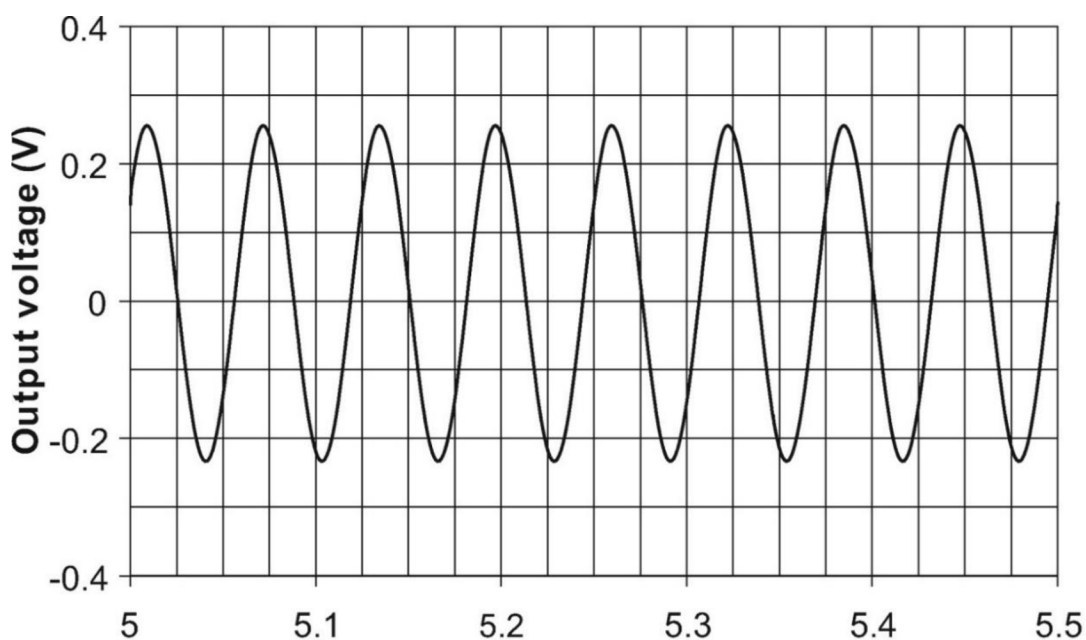
### 3.1.2 Paralelní přenos dat

K přenosu dat dochází na všech vývodech paralelně – zároveň. K tomu jsou určeny konektory o velikosti 36 pólů u rozhraní Centronics, které se používá pro zapojení tiskárny. Nebo rozhraní SCSI s konektory o 68 vývodech pro připojení vysokorychlostních disků [6].

### 3.1.3 Analogový signál

Signál lze nazývat jako proměnlivou veličinu závislou na čase neboli kvantitativní výstup ze senzoru či měření. Je nositelem informace do výstupního zařízení, má tedy takzvaný informační charakter. Dále musí mít trvalou závislost vůči měřené veličině a umožnit snadné zpracování [7; 8].

Analogový signál nabývá spojitéch hodnot v čase i na své úrovni (amplitudě). Bývá nejčastějším vyjádřením reálné fyzikální veličiny. Při vedení signálu od snímače vzniká další nežádoucí signál – šum. Šum se podle svého vzniku dělí na vnitřní (pochází ze zdrojů spojených s vlastním měřením) a vnější (elektrická síť, točivé stroje, regulátory, měniče frekvence). Pro minimalizaci vzniku šumu je potřeba vést signál mimo zdroje elektromagnetického pole a minimalizovat délku jeho vedení, které samo nesmí vytvářet elektromagnetické pole a být vůči němu odolné – použití stíněné kroucené dvoulinky či stíněného koaxiálního kabelu [7; 8].



Obrázek 2 Analogový signál [60]

### 3.1.4 Zesilovače a filtry

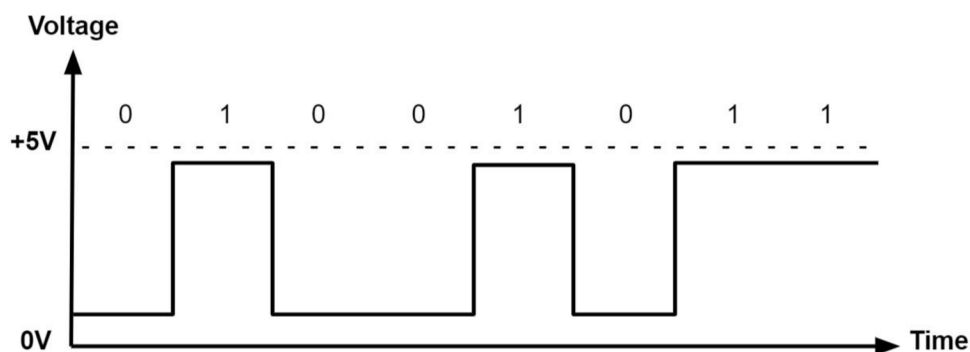
Výstupní elektrický signál vycházející ze senzoru je nutné upravit z hlediska eliminace šumu a pro nadcházející efektivní zpracování v dalších měřicích členech. Provádí se před jeho digitalizací a co nejbližší zdroji, kde signál není ovlivněn rušením. Jedná se o filtrování, zesílení, linearizaci a izolaci [7; 8].

Filtry propouští pouze určité části frekvenčního spektra signálu. Příslušné rozdělení jsou: dolní propust (low-pass), horní propust (high-pass), pásmová propust (band-pass), pásmová zádrž (band-reject). Podle konstrukce se filtry dále dělí na pasivní filtry, které vznikají vhodným zapojením elektrického obvodu pomocí RLC součástek a aktivní filtry, které obsahují operační zesilovač, jenž lze uzpůsobit pro požadovanou úroveň filtrace [7; 8].

Zesilovače jsou používány k zesílení napěťové, případně výkonové úrovně signálů na úroveň vstupního rozsahu měřicího zařízení. Bývají často spojeny s obvody pro linearizaci signálu a jeho kompenzaci. Zesílení se provádí pro analogové výstupní signály ze senzorů, a to aktivních i pasivních. Současné zesilovače umožňují kromě vlastního zesílení také převod mezi typy signálů, například proudový na napěťový nebo naopak [7; 8].

### 3.1.5 Digitální signál

Přístroje ke zpracování a ukládání dat pracují pouze s číslicovými (binárními) signály. Obvody číslicové techniky jsou schopny z technických důvodů pouze zpracovávat údaje ve dvojkové soustavě. Výpočetní technika se skládá z mnoha tranzistorů, které jsou schopny uskutečnit dva stabilní stavy – 0 a 1. Z tohoto důvodu musí být proveden převod vstupního analogového signálu na výstupní digitální, který je z časového i hodnotového hlediska diskrétní (nespojité). Převod neboli konverze signálu bývá realizována pomocí A/D převodníku [7; 8].



Obrázek 3 Digitální signál [61]



### 3.1.6 Analogově-digitální převodník

Analogově-digitální (A/D) převodník, jakožto součást měřících přístrojů, periodicky převádí analogový vstupní signál na výstupní digitální signál zpracovatelný pro data logger či výstupní zařízení. Uvnitř měřícího zařízení bývá obvykle pouze jeden. Samostatné analogové vstupní signály přepíná nebo slučuje multiplexor, načež je následně odesílá do obvodu zesilovače. Rozlišuje se zesilovač s pevně daným zesílením pro všechny vstupní kanály nebo řízený, který umožňuje různé zesílení jednotlivých kanálů. Zesílený signál vstupuje do vzorkovače, kde probíhá vzorkování (diskretizace) časového průběhu signálu potřebnou frekvencí, kterou udržuje neměnnou po dobu vstupu do vlastního A/D převodníku. Zde probíhá poslední fáze převodu, která se nazývá kvantizace signálu [7; 8].

Kvalita A/D převodníku se určuje podle dvou hlavních parametrů. První parametr představuje rozlišovací schopnost převodníku. Lze ji charakterizovat podle počtu úrovní rozdělovacích rozsah dovoleného vstupního napětí. Hodnota rozlišovací schopnosti se současně shoduje s hodnotou kvantizačního kroku. Maximální chyba převodu ideálního převodníku má hodnotu poloviny kroku kvantizace. Reálný A/D převodník má však oproti ideálnímu odlišnou charakteristiku, což je způsobeno posunem napětí (offset) či nelinearitou převodníku. Pro kvalitu převodu je rovněž důležitá stabilita referenčního napětí. Druhý parametr určující kvalitu A/D převodníku představuje rychlost převodu. Ta obvykle odpovídá hodnotě vzorkování. Definovat rychlost převodu lze jako dobu trvání mezi přivedením signálu do převodníku a zisku plnohodnotného digitálního signálu. Nejpoužívanějšími typy A/D převodníku jsou paralelní, aproximační, integrační a sigma-delta [7; 8].

### 3.1.7 Vzorkování signálu

Vzorkování je proces, při kterém se analogový signál snímá pomocí vzorkovacích impulzů v rámci konstantních časových úseků (periodě). To způsobuje vznik posloupnosti analogových hodnot – signál diskretní v časové ose a spojitý v hodnotě (amplitudě). Frekvence, pomocí které převodník vzorkuje analogový signál, má název vzorkovací frekvence [7; 8].

Vzorkovací frekvence je dána vztahem (1):

$$f = \frac{1}{t}$$

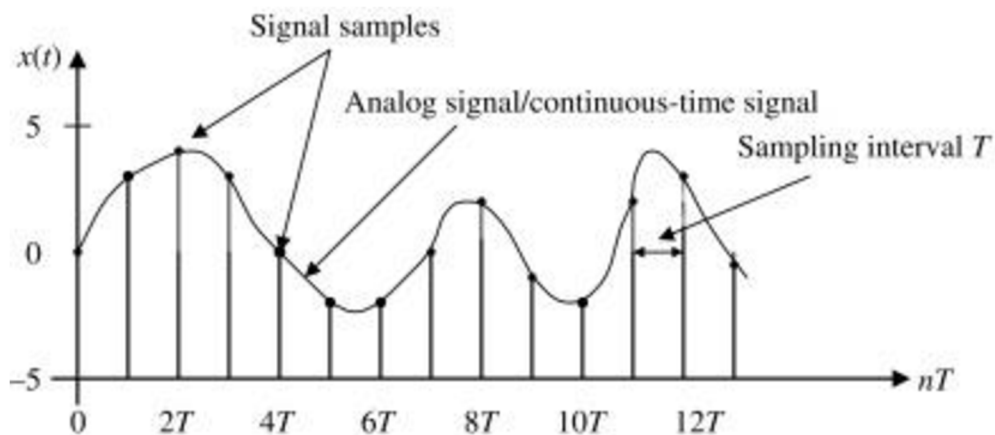
(1)

f – vzorkovací frekvence [Hz]

t – čas [s]

Aby nedocházelo k záměně jednotek mezi vzorkovací frekvencí a šířkou pásma, užívá se často jednotka pro rychlost vzorkování S/s (samples per second), přeloženo počet vzorků za sekundu. Šířka pásma používá jednotku 1 Hz. Šířka pásma (bandwidth) udává maximální přípustnou frekvenci, při které nedochází k významné degradaci vyobrazení signálu. Je nutné respektovat praktické doporučení, že při měření vysokofrekvenčních signálů, nebude frekvence signálu vyšší než třetina šířky pásma [7; 8].

Pro zamezení chybné interpretace digitálního signálu je důležité splnit zásadní Nyquist-Shannonův teorém, tedy vzorkovací frekvence musí být větší než dvojnásobek frekvence vstupního signálu. Při nízké vzorkovací frekvenci bude výstupní signál po vzorkování odpovídat zcela jinému průběhu. Tento jev se nazývá aliasing. Pro eliminaci vzniku aliasingu se kromě volby vhodné vzorkovací frekvence využívá antialiasingový filtr, konkrétně typu dolní propust. Filtr ze vstupního signálu odebere složky o frekvenci vyšší, než je polovina hodnoty vzorkovací frekvence. V případě nepoužití filtru by mohlo dojít ke vzorkování těchto vyšších frekvenčních složek signálu jako signál s nižší frekvencí a zkreslit tím jeho frekvenční spektrum. Rychlost vzorkování bývá limitována pamětí měřicího zařízení [7; 8].



Obrázek 4 Vzorkování signálu [62]

### 3.1.8 Kvantování signálu

Již navzorkovaný signál vstupuje do A/D převodníku, kde dochází k procesu kvantizace. Během kvantování převodník převádí posloupnost analogových hodnot (amplitudy) na hodnoty diskrétní. Přesnost přenosu je dána rozlišením převodníku, které představuje počet postupného dělení celého měřeného rozsahu na poloviny. Rozlišení převodníku se udává v počtu bitů. Využívají se bitové řady po 8, 10, 12, 16, 18 bitech. Nejpřesnější převodníky jsou schopny provést rozlišení 24 bitů [7; 8].

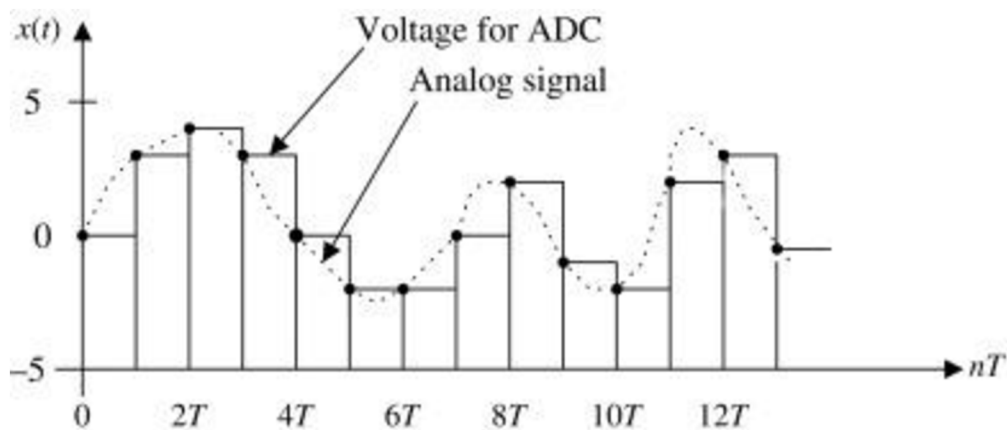
Počet vstupních úrovní, které dokáže převodník rozlišit, vychází ze vztahu (2):

$$n_k = 2^m \quad (2)$$

$n_k$  – počet kvantovacích úrovní [-]

$m$  – rozlišení [bit]

Kvantovací (rozlišovací) krok odpovídá hodnotou takzvanému nejméně významnému bitu LSB (Least Significant Bit). Jedná se o nejmenší možnou změnu signálu, kterou je převodník schopen rozlišit, což představuje nejmenší dílek stupnice rozlišení signálu. Volba vhodného rozlišení převodníku by měla být v souladu s přesností senzoru měřené veličiny. Analogickou chybu vůči nejistotě měření ručičkovým přístrojem, která činí polovinu nejmenšího dílku stupnice, představuje právě velikost poloviny kvantizační úrovně při digitálním zpracování. Přesnost převodníku nesmí být zaměňována s jeho rozlišením, neboť udává odlišnost odpovídající digitální hodnoty od skutečné hodnoty napětí. Skutečná hodnota napětí je odlišná vlivem nelinearity, posunutím nuly, teploty, zesílením a multiplexováním. Bývá úměrná kvantovacímu kroku, proto se často udává v jeho násobcích. Obecně platí pravidlo, které tvrdí, že s úměrně rostoucím rozlišením klesá rychlost vzorkování signálu. Signály dále lze rozlišovat z hlediska nabývání hodnot k zemi. Unipolární signál nabývá pouze kladných hodnot. Bipolární signál je schopen nabýt vzhledem k zemi kladných i záporných hodnot [7; 8].



Obrázek 5 Kvantování signálu [62]

Velikost kvantovacího kroku je určena vztahem (3):

$$LSB = \frac{U_{ref}}{2^m} \quad (3)$$

LSB – nejméně významný bit [V]

$U_{ref}$  – referenční napětí [V]

$m$  – rozlišení [bit]

### 3.1.9 PWM signál

Šířkově pulzní (PW) modulace je druh časového zpracování signálu, kdy lze analogové nebo diskrétní víceúrovňové hodnoty převést do průběhu o dvou hodnotách. Jedná se o taktované napěťové či proudové signály s konstantní frekvencí a shodným spínacím napětím. PW modulovaný signál lze vytvořit porovnáním vstupního signálu s referenčním průběhem tak, že výstup nabývá vysoké hodnoty (zapnuto), když je signál větší než referenční hodnota, a v opačném případě nízké hodnoty (vypnuto). Hodnota signálu bývá určena jako poměr těchto dvou hodnot. Tento poměr se nazývá střída. K přenosu jedné střídy dojde během periody, jejíž hodnota se rovná součtu doby stavů zapnuto a vypnuto. Jako reference se běžně používají pilovité nebo trojúhelníkové vlny. PW modulace se nazývá přirozeně vzorkovaná PW modulace (NPWM), pokud je vstupní signál v časové oblasti spojitý. Naproti tomu, když se zpracovává signál v diskrétním čase, nazývá se rovnoměrně vzorkovaná PW modulace (UPWM) [9]. PW modulace se široce používá pro elektronický převod výkonu [10] a pro návrh zesilovačů třídy D [11].

## 3.2 Datové sběrnice silničních vozidel

Elektronické technologie zaznamenaly velký pokrok a v současné době kvalita elektronických součástek – výkon, robustnost a spolehlivost – umožňuje jejich použití také v kritických systémech vozidel. Klesající cena elektronických technologií zároveň umožňuje jejich použití pro podporu jakékoli funkce uvnitř vozidla. Během minulých dvou desetiletí se navíc vyvinulo několik vestavěných sítí pro automobilový průmysl, jako jsou místní komunikační sítě LIN, CAN, FlexRay, MOST. Tím vznikla koncepce multiplexování, jejíž hlavní výhodou je výrazné snížení nákladů na kabeláž a také flexibilita. Data (např. rychlost vozidla) vzorkovaná jedním mikroprocesorem jsou k dispozici vzdáleným funkcím, které se tak obejdou bez dalších potřebných senzorů nebo spojů [12].

Dalším technologickým důvodem nárůstu automobilových vestavných (embedded) systémů je skutečnost, že tyto nové hardwarové a softwarové technologie usnadňují zavádění funkcí, jejichž vývoj by byl nákladný nebo dokonce neproveditelný, pokud by se používala pouze mechanická nebo hydraulická technologie. V důsledku toho umožňují lépe uspokojit požadavky koncových uživatelů z hlediska bezpečnosti, komfortu, a dokonce i nákladů. Známými příklady jsou elektronické řízení motoru, ABS, elektronický stabilizační systém (ESP), aktivní odpružení atd. Stručně řečeno, díky těmto technologiím si zákazníci mohou koupit bezpečné, účinné a individualizované vozidlo, zatímco výrobci automobilů jsou schopni rozlišovat mezi variantami výrobků a potenciálními inovacemi (analytici uvádějí, že více než 80 % inovací, a tedy i přidané hodnoty, je a bude získáno díky elektronickým systémům) [12; 13].

### 3.2.1 Účel palubní komunikace

Moderní automobil (automobilový systém) obsahuje mnoho elektronických zařízení (podsystemů), jako jsou pokročilé bezpečnostní systémy, řízení hnacího ústrojí, senzory a diagnostické prostředky. Tyto podřadné systémy se v průběhu času vyvíjely a spoléhaly na různé komunikační služby poskytované několika síťovými technologiemi. Všechny automobilové podsystemy byly původně propojeny vyčleněnými kabely. Řízení a brzdění se provádělo pomocí hydrauliky a mechaniky. Jak se však automobilové systémy stávaly složitějšími, bylo třeba hledat nová technická řešení [14].

S rostoucím počtem automobilových podsystemů závislých na elektronice rostl i počet kabelů potřebných pro jejich propojení. Pro snížení množství kabeláže byla zavedena

koncepce polních sběrnic. Polní sběrnice je zařízení, konkrétně datová sériová sběrnice, umožňující výměnu zpráv mezi uzly připojenými k této sběrnici. Použitím datové sběrnice je několik dříve vyčleněných kabelů nahrazeno sériovou sběrnici propojující řídicí jednotky, což snižuje hmotnost i náklady na automobilový systém. V současné době si většina řídicích jednotek mezi sebou vyměňuje informace (komunikuje) pomocí sběrnic. Zavedení řídicích jednotek a počítačů umožnilo realizaci pokročilejších automobilových podsystémů [14].

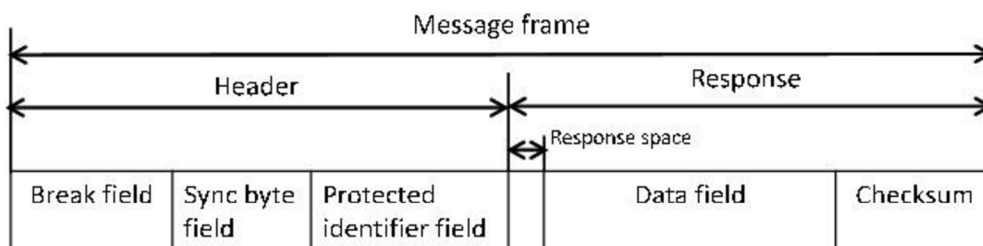
Nicméně s nejnovějším technologickým pokrokem, který vytváří nápor na nahrazení hydraulických částí automobilových systémů, jako je řízení a brzdění, elektronikou, vzniká v průmyslu potřeba nových spolehlivých vysokorychlostních sběrníkových sítí. Takové sběrnice byly vyvinuty a prokázaly svou funkčnost v několika prototypích automobilů. Tato nová "by-wire" řešení se běžně nazývají x-by-wire systémy. Existuje několik důvodů, proč jsou výrobci automobilů ochotni nahradit hydraulické nebo mechanické systémy elektronikou. Nejdůležitějšími důvody jsou vysoké náklady společně s technologickým omezením hydraulických systémů. Implementace nových, pokročilejších funkcí pomocí hydrauliky by byla příliš komplikovaná. Navíc je práce s hydraulickými systémy poněkud obtížná, protože zahrnují kapaliny a potrubí. Nejsou navíc příliš šetrné k životnímu prostředí, zejména pokud má být vůz recyklován [14].

Podsystémy využívající automobilovou síť jsou výrazně závislé na vzájemné komunikaci. Sběrnice proto musí vyhovovat požadavkům na odolnost proti poruchám, determinismus, šířku pásma, flexibilitu a bezpečnost. Automobilový systém se skládá z několika podsystémů závislých na síťové komunikaci. Zde je jmenováno osm typických zástupců: systémy podvozku, systémy airbagů, hnací ústrojí, karoserie, komfortní elektronika, x-by-wire, multimédia a infotainment, bezdrátové připojení nebo telematika. Kromě výše uvedených podsystémů, je rovněž požadována diagnostika vozidla, jako je monitorování emisí, kontrola součástí a vlastností, servis a údržba s možností flashování a aktualizace softwaru [14].

### 3.2.2 LIN Bus

Sběrnice LIN byla vytvořena s cílem zavést standard pro nízkonákladovou multiplexní komunikaci v automobilových sítích. Typické aplikace LIN zahrnují komunikaci mezi řídicí jednotkou a akčními členy pro sedadla, dveře, motor nebo volant, s typickou rychlostí přenosu dat do 20 kb/s [15]. Je založena na architektuře master/slave, která se skládá z právě jednoho nadřazeného uzlu master a několika podřízených uzlů slave propojených jediným vodičem. Používá metodu časového spouštěče (triggeru), která využívá apriorně pevný časový řád, což je klíčová vlastnost tohoto typu sběrnice. Hlavní uzel se řídí časovým programem, který má za úkol rozhodovat o tom, kdy a který rámeček zprávy má být na sběrnici přenesen [16].

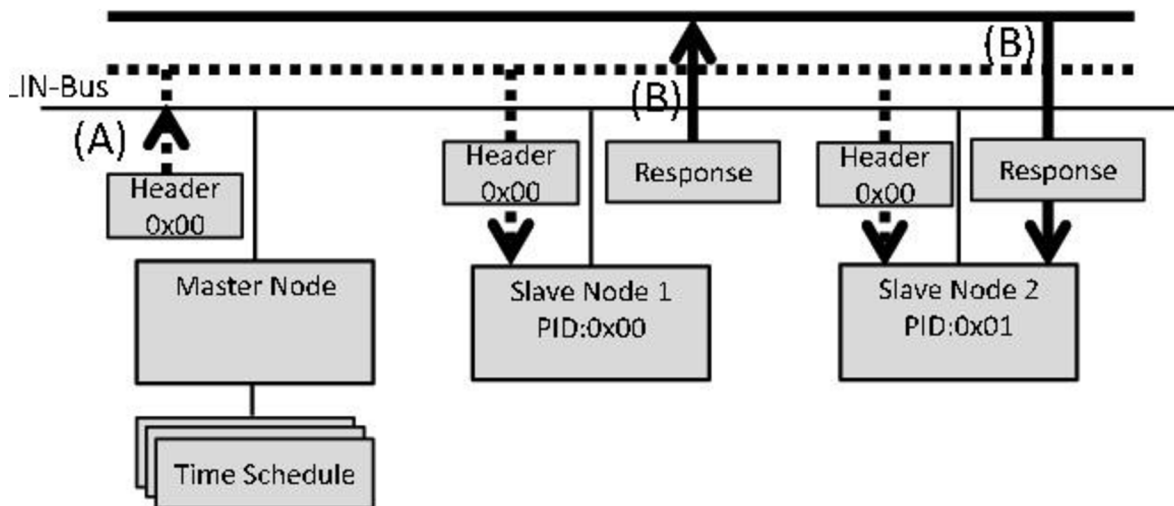
Datové rámečky zpráv (message frames) se skládají z hlavičky poskytnuté uzlem master a odpovědi poskytnuté uzlem slave. Hlavička se skládá z pole break, určeného k označení začátku nového rámečku. Sync byte je pole s datovou hodnotou 0x55, které používá podřízený uzel pro synchronizaci času. Pole chráněného identifikátoru (PID) sestává ze dvou vnitřních polí identifikátoru rámečku (bity 0 až 5) a parity (bity 6 a 7). PID označuje obsah konkrétní zprávy, ale ne její cíl. Datové pole odpovědi obsahuje až 8 bajtů dat. Kontrolní součet (checksum) je určen pro ověření, zda uzel přijímá data správně [16].



Obrázek 6 Datový rámeček zprávy LIN [16]

Ve sběrnici LIN se používá několik typů datových rámečků. Nepodmíněný rámeček je nejčastěji používaný. Příklad způsobu přenosu je uveden na obrázku níže. Podřízený uzel značen 2 provádí úlohu na základě odpovědi odeslané z podřízeného uzlu značeného 1. V tomto okamžiku LIN používá metodu master-slave. Při použití této metody může podřízený uzel 1 odeslat odpověď pouze na základě hlavičky odeslané z hlavního uzlu. Načasování hlavičky je řízeno časovým programem hlavní jednotky. Na začátku odešle hlavní jednotka hlavičku obsahující PID (v tomto případě 0x00), která označuje odesílatele nebo příjemce, vyznačeno (A) na obrázku níže. Hlavička je vysílána po sběrnici a všechny

uzly ji přijímají. Uzel odpovídající PID odešle nebo přijme odpověď (v tomto případě podřízený uzel 1 odešle odpověď, načež podřízený uzel 2 přijme odpověď), což odpovídá situaci na obrázku níže označené písmenem (B). Odpověď bez hlavičky bude při přenosu LIN jednoduše zahozena [16].



Obrázek 7 Příklad komunikace LIN [16]

### 3.2.3 CAN Bus

Sběrnice CAN byla původně navržena firmou Bosch v roce 1986 pro monitorování a řízení automobilů a používala se především pro komunikaci mezi měřicími a výkonnými komponenty. Přenosová rychlost může být až 1 Mb/s (pro komunikační vzdálenosti kratší než 40 m) s přenosovým zatížením omezeným na osm bajtů; při použití ve vozidlech bývá přenosová rychlost obvykle 500 kb/s se snížením až na 5 kb/s. Přenosovým médiem sběrnice CAN může být kroucená dvoulinka nebo koaxiální kabeláž, které jsou cenově výhodné a odolné vůči elektrickému rušení. Zároveň mohou vykonávat autodiagnostiku a opravy chyb. Sběrnice CAN je schopna pracovat v reálném čase, největší uplatnění má v pohonném ústrojí a brzdovém systému. V současné době se jedná o nejpoužívanější sběrnici v motorových vozidlech [17]. Sběrnice CAN nerozlišují mezi nadřazenými a podřízenými uzly. Každý uzel může zahájit komunikaci s kterýmkoli jiným uzlem. Pořadí komunikace bývá určeno prioritou zprávy každého uzlu. Pokud více uzlů zahajuje relace současně, musí být zprávy s vyšší prioritou upřednostněny před zprávami s nižší prioritou, aby bylo zabráněno přetížení komunikačních linek. Z hlediska přenosových



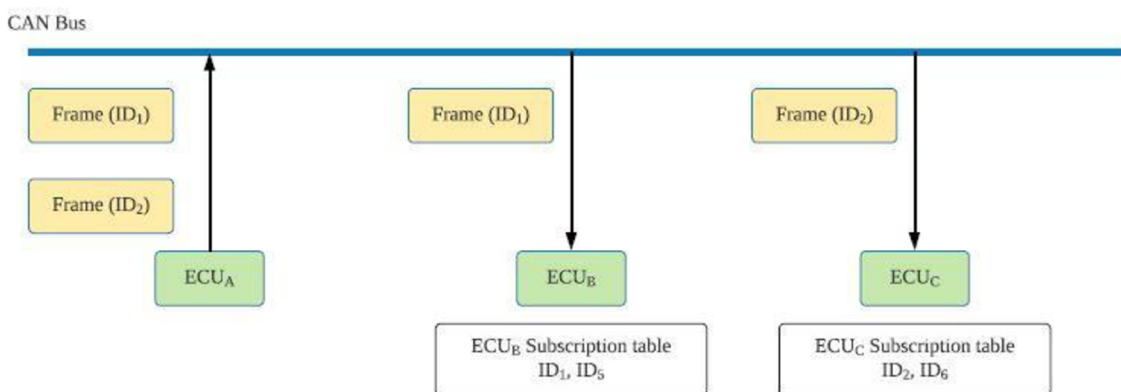
rychlostí lze sběrnici CAN dále rozlišit na vysoko rychlostní nebo nízko rychlostní (CAN-C, respektive CAN-B) [18]. Standardem pro sběrnici CAN-C je norma ISO11898-2 [19]. Přenosové rychlosti jsou 125 kb/s až 1 Mb/s, a protože dokáže uspokojit požadavky pohonných systémů na přenos dat v reálném čase, používá se sběrnice CAN-C často k propojení a řízení motorů, převodovek a přístrojových desek. Standardem CAN-B je ISO11898-3 [20]. CAN-B má přenosové rychlosti 40–125 kb/s a používá se většinou pro systémy řízení komfortu a podvozku [21].

Ve sběrnici CAN je každý uzel elektronickou řídicí jednotkou (ECU). Sběrnice CAN zahrnuje komunikaci mezi ECU prostřednictvím vysílání (broadcast). Datový rámeček sběrnice CAN obsahuje 1bitový začátek rámečku (SOF); 11bitové pole identifikátoru ID – rozšířený formát má 29 bitů; 10bitový požadavek na dálkový přenos, který se používá k označení, zda se mají data přijmout; 1bitové rozšíření identifikátoru, které se používá k označení, že datový rámeček je buď základního, nebo rozšířeného formátu; 4bitový kód délky dat (DLC), který označuje délku dat; 64bitové datové pole; 16bitové pole cyklické redundantní kontroly (CRC) s posledním 1 bitem jako oddělovačem CRC; 2bitový potvrzovací slot (ACK) s pozdějším 1 bitem jako oddělovačem ACK a vyjádřeným jako 1 pro vysílače nebo 0 pro přijímače; a 7bitový konec rámečku (EOF) pro jeho uzavření. V každém datovém rámečku je identifikační pole zároveň identifikačním kódem. Pokud se chystá více ECU přenášet informace současně, rozhodovací mechanismus sběrnice CAN využívá ID k určení priority přenosu dat. Pokud je současně odesíláno více rámečků, je nejprve odeslán rámeček s nejmenším ID, přičemž není nutné, aby každá ECU kontrolovala cíl přenosu rámečků, což usnadňuje jejich rychlý přenos [21].



Obrázek 8 Datový rámeček zprávy CAN [21]

Postup sběrnice CAN při přenosu datových rámců je znázorněn na obrázku níže. Protože CAN nezahrnuje adresy uzlů v síti a současně ID rámce označuje jeho vlastní typ, uzly CAN neznají příslušnou konfiguraci sítě. Proto každá ECU obsahuje seznam uchovávaných ID rámců, které musí být přijaty. Když ECU<sub>A</sub> vysílá rámeček na sběrnici CAN, všechny ostatní jednotky ECU tento signál rámce přijmou. Každá ECU pak zkontroluje, zda je ID rámce signálem, který musí přijmout. Pokud ano, přijme daný rámeček. Obrázek níže předpokládá, že ECU<sub>B</sub> musí přijímat rámce ID<sub>1</sub> a ID<sub>5</sub>. Proto se tyto dvě ID objeví v seznamu pro příjem ECU<sub>B</sub>. Když ECU<sub>A</sub> vyšle rámeček identifikovaný jako ID<sub>1</sub> na sběrnici CAN, ECU<sub>B</sub> zkontroluje svůj seznam přijímaných rámců a poté, co zjistí, že ID<sub>1</sub> je rámeček, který požaduje, přijme informace o tomto rámcí. Tento typ modelu čtení rámců usnadňuje flexibilitu nasazení ECU, a pokud uzly ECU vyžadují nové typy rámců, mohou být odpovídající ID rámců přímo přidány do jejich seznamu pro příjem. Když se objeví nové uzly, mohou být přímo připojeny k síti, aniž by bylo nutné měnit ostatní uzly v síti [21].



Obrázek 9 Příklad komunikace CAN [21]

### 3.3 Senzory

Senzor je zařízení, které zaznamenává vstupní podnět, jímž může být jakákoli veličina, vlastnost nebo stav z fyzického prostředí, který následně řídicí obvod převádí na měřitelný digitální signál. Vstupním podnětem může být například tlak, síla, průtok, světlo, teplota, pohyb, vlhkost nebo kterýkoliv z širokého rozsahu dalších jevů v okolí. Výstupem odezvy bývá obvykle elektrická forma signálu, jako je napětí, proud, kapacita, odpor či frekvence, která je převedena na čitelný ukazatel nebo přenášena elektronickými prostředky po síti pro čtení nebo další vyhodnocení [22].

Senzory se dělí do různých skupin podle kritérií, jako jsou měřené veličiny, oblasti použití, princip převodu, energetická oblast měřené veličiny a termodynamické aspekty [22; 23].

### 3.3.1 Rozdělení senzorů z hlediska jejich použití

#### Senzor tlaku

Elektromechanické zařízení, které poskytuje měření tlaku plynů nebo kapalin. Obvykle mohou být senzory tlaku výrazně odlišné z hlediska technologie, konstrukce, vhodnosti použití, výkonu a ceny. Používají se pro řízení a monitorování širokého spektra každodenních aplikací [24].

#### Senzor teploty

Elektronické zařízení, které zachycuje tepelné parametry svého okolí a převádí vstupní signály na elektronická data, aby umožnilo sledovat nebo signalizovat změny teploty. Senzor teploty obvykle využívá k detekci teplotních změn odporový teplotní detektor (RTD) nebo termočlánek. Teploměr bývá nejběžnějším teplotním měřidlem, které se používá k měření stupně teploty nebo chladu [25].

#### Senzor vzdálenosti

Elektronické zařízení, které umožňuje detekci přítomnosti blízkých objektů bez fyzického kontaktu. Tyto senzory zpravidla vysílají elektromagnetické pole a hledají v něm změny nebo zpětný signál [26].

#### Senzor vlhkosti

Senzor vlhkosti zaznamenává množství vody v prostředí a převádí tato měření na signály, které lze použít jako vstupní podnět. Obecně nachází využití v meteorologii, lékařství, automobilovém průmyslu a ve výrobních procesech [27].

#### Senzor napětí (síly)

Zařízení, které převádí působící mechanické síly, jako je tahová a tlaková síla, načež dále vysílá výstupní digitální signály, jejichž hodnoty odpovídají velikosti působícího silového napětí. Tyto senzory se používají v široké škále aplikací, jako jsou například spotřebiče, počítačová zařízení, hudební nástroje, lékařské přístroje nebo automobily [28].

### Senzor průtoku

Elektronické nebo elektromechanické zařízení, které se používá k měření průtoku kapaliny nebo plynu. Měření průtoku je nezbytné pro řízení mnoha průmyslových procesů, proto tyto senzory mají četné uplatnění v automobilovém nebo zdravotnickém průmyslu [29].

### Plynový senzor

Pevné nebo přenosné elektronické zařízení, které se používá ke snímání přítomnosti a vlastností plynů. Tyto senzory fungují jako důležité zařízení pro detekci škodlivin a poskytují způsob monitorování koncentrace plynů a informací důležitých pro životní prostředí s mnoha bezpečnostními aspekty [30].

### Světelný senzor

Fotoelektrické zařízení, které přeměňuje zachycenou světelnou energii (fotony) na elektrickou energii (elektrony). Jedná se o cenný nástroj v mnoha průmyslových odvětvích. Různé světelné senzory, jako jsou fotorezistory, fotodiody, fototranzistory atd., však fungují poněkud odlišně a mají své jedinečné použití [31].

## 3.3.2 Aktivní a pasivní senzor

Aktivní (nenapájené) senzory ve vozidlech lze obecně charakterizovat jako senzory, které ke své činnosti nepotřebují externí zdroj energie a využívají okolní prostředí k vytváření signálu, který je následně zpracován. Tyto senzory mohou být citlivé na teplotu, tlak, světlo, zvuk nebo magnetické pole a při změně těchto veličin generují signál. Mezi příklady aktivních senzorů používaných ve vozidlech lze zařadit [32]:

Senzory teploty – motor, turbodmychadlo, palivový systém, interiér

Tlakové senzory – v pneumatikách, systém mazání, systém klimatizace

Optické senzory – adaptivní osvětlení interiéru

Akustické senzory – určení vzdálenosti od překážky

Magnetické senzory – otáčky kol nebo motoru

Pasivní (napájené) senzory ve vozidlech ke své funkci a poskytování dat potřebují externí zdroj energie k vytvoření signálu, který je následně zpracován a použit k řízení různých systémů ve vozidle. Příklady pasivních senzorů používaných ve vozidlech [32]:

Senzor polohy – poloha plynového nebo brzdového pedálu, vačková hřídel

Senzor rychlosti (otáček) – otáčky kol nebo motoru (Hallův senzor)

Potenciometr – hladina paliva či poloha škrtkové klapky

### 3.3.3 Senzory rychlosti

Senzor rychlosti je v závodním voze zařízení, které snímá rychlost otáčení kol nebo hnacího hřídele a následnou kalibrací poskytuje důležité údaje řídicímu systému vozu. Používají se dva typy senzorů, konkrétně indukční a Hallův. Indukční ke zjištění rychlosti otáčení využívá stacionární cívku a rotující magnet (trigger) v podobě ozubeného kola, magnetického pásku či hlavy šroubu. Generuje střídavé napětí, které je úměrné rychlosti snímaného tělesa. Obecně jsou levnější než senzory využívající Hallův efekt, navíc nevyžadují napájení. Vykazují značnou citlivost na faktory prostředí, jako je teplota nebo elektrický šum. Velmi důležitá je dále optimální měřicí vzdálenost vůči triggeru současně s bezpečným upevněním, což lze snadno narušit například postupnými usazenými nečistotami [32; 33].

Senzory otáček s Hallovým efektem používají malou polovodičovou součást zvanou Hallův generátor. Jev vzniká na polovodičové vrstvě během průchodu napájecího proudu. Jestliže se nachází kolmo k této vrstvě magnetické pole, vzniká mezi kontaktními plochami Hallovo napětí. Jedná se o stejnosměrné napětí, které bývá úměrné intenzitě magnetického pole, a tedy rychlosti detekovaného tělesa. Mají vyšší pořizovací cenu než indukční senzory a musí být napájeny – měkkým napětím nejčastěji o velikosti 5 V. Jsou odolnější vůči elektrickému šumu a teplotním změnám než indukční senzory. Také lépe odolávají prachu, oleji a dalším extrémním podmínkám. Mají rovněž schopnost rozeznat směr otáčení. V motorsportu dnes jednoznačně dominantní [32; 33].

Senzor otáček kol snímá obvodovou rychlost otáčení kol. Tyto údaje bývají používány ke sledování rychlosti vozu a k přizpůsobení optimálnímu jízdnímu výkonu, například k nastavení vyvážení brzd nebo systému kontroly trakce. Rovněž jsou důležité pro systémy ABS a elektronické uzávěrky diferenciálu. Senzory otáček kol jsou instalovány na každém náboji kola a jsou připojeny k ozubenému kolu nebo magnetickému pásku na ložisku kola. Při otáčení kola generuje trigger magnetické pole, které je detekováno senzorem, jenž následně vyšle signál do řídicí jednotky. Jednotka na základě těchto údajů sleduje otáčky jednotlivých kol a zjišťuje, zda se některé z kol neblokuje nebo neztrácí trakci. Pokud jednotka zjistí zablokování nebo ztrátu trakce některého z kol, vyšle signál do systému ABS nebo kontroly trakce, který upraví brzdový systém nebo výkon motoru tak, aby znovu jezdec získal kontrolu nad vozem [32; 33].

Existuje několik dalších případů aplikace senzoru rychlosti v závodních vozech k měření různých parametrů výkonu vozu [34]:

#### Senzor otáček motoru

Tento senzor snímá otáčky klikového hřídele motoru, které se používají k výpočtu otáček motoru za minutu. Tyto informace využívá řídicí jednotka k řízení vstřikování paliva, předstihu zapalování a variabilního časování ventilů [35; 36].

#### Senzor otáček převodovky

Tento senzor snímá otáčky výstupního hřídele převodovky, které mají důležitou roli ve výpočtu rychlosti vozidla a převodového poměru rychlostních stupňů. Tyto informace se používají k optimalizaci řazení převodových stupňů a výkonu vozidla [32; 33].

#### Senzor rychlosti GPS

Tento typ senzoru využívá k měření rychlosti vozidla technologii GPS. Často se používá ve vytrvalostních závodech ke sledování rychlosti a polohy vozu vzhledem k soupeřům na trati. Dále pro poskytování důležitých údajů v reálném čase jezdcí a týmu [34].

#### Senzor omezovače rychlosti v boxové uličce

Tento senzor omezuje rychlost vozu při vjezdu do boxové uličky. Snímá jeho rychlost a vysílá signál do řídicí jednotky, aby omezil výkon motoru a udržoval bezpečnou rychlost [34].



Obrázek 10 Senzor otáček kol [37]

Dalším senzorem používaným k měření rychlosti a polohy vozidla je optický senzor Correvit. Jedná se v podstatě o optický senzor, který snímá relativní rychlost mezi vozidlem a vozovkou. Výpočet se následně provede podle doby trvání od startu laserového paprsku ze senzoru, po kterém se odrazí od vozovky zpět. Použití nachází primárně ve vozech Formule 1 spolu s Pitotovou trubicí mimo jiné k měření rychlosti čelního nebo zadního proudícího vzduchu [34].

### 3.3.4 Aerodynamické senzory

Senzory používané v rámci aerodynamiky mají dvě oblasti použití: působení vzduchu s nízkým rozsahem tlaku nebo lokální senzory rychlosti. Ty lze použít k získání profilu proudění kolem vozidla a k lepšímu pochopení jeho charakteru. Tlaky vzduchu kolem závodního vozu, přestože vytvářejí značné množství přtlaku, jsou opravdu nízké, obvykle v rozmezí 7–14 kPa. K měření potřebných tlaků proto postačují piezoelektrické senzory [33; 34].

Lokální rychlost proudění vzduchu se obvykle snímá pomocí Pitotovy trubice. Pitotova trubice je dvojice trubiček, které mohou být soustředné i nesoustředné. Jedna směřuje přímo k proudícímu vzduchu a druhá, tzv. statický kanál, je uzavřená ve směru proudění, ale otevřená ve směru atmosférického tlaku a snímá statický tlak. Odečtením statického tlaku od celkového tlaku, měřeného trubicí směřující do směru proudění, lze získat hodnotu dynamického tlaku a z něj tak vypočítat rychlost vzduchu, což lze chápat jako relativní rychlost mezi vozem a vzduchem. Druhým typem zařízení pro měření rychlosti vzduchu je malá, lehká rotující lopatka uložená na ložiskách kol s nízkým třením. Má podobnou funkci jako rychloměry, neboť po vhodné kalibraci převádí rychlost otáčení na lineární rychlost [33; 34].

Dynamický tlak je určen vztahem (4):

$$p_D = \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (4)$$

$p_D$  – dynamický tlak proudícího vzduchu [Pa]

$\rho$  – hustota vzduchu [kg/m<sup>3</sup>]

$v$  – rychlost proudícího vzduchu [m/s]



Obrázek 11 Pitotova trubice [38]

### 3.3.5 Senzory polohy

Tento typ senzoru má v motoristickém sportu široké uplatnění. Mohou měřit lineární nebo úhlovou polohu či pohyb. Rotační typy lze použít k měření úhlu natočení volantu, polohy škrticí klapky (instalované buď na plynovém pedálu nebo na táhlu škrticí klapky), polohy brzdového pedálu a v neposlední řadě volby převodového stupně, který lze zařadit mezi důležité ukazatele pro závodního jezdce během jízdy [33; 34].

Naproti tomu lineární senzory lze použít k měření pohybu tlumiče. Oba typy senzorů polohy jsou obecně potenciometry, zařízení, která mění svůj elektrický odpor s polohou kontaktu jezdce. Jakmile je senzor zkalibrován, vrátí úhel nebo vzdálenost ve vztahu vůči nulové poloze [39; 40].

Dalším typem senzoru polohy je proměnný diferenciální transformátor, který může být lineární (LVDT) nebo rotační (RVDT). Pracuje na elektromagnetickém principu, kdy se v indukovaných cívkách generuje proměnné napětí v důsledku pohybu magnetického jádra. Typickými aplikacemi jsou měření posunu tlumičů nebo opotřebení brzdových destiček a brzdových kotoučů, protože senzor dokáže přesně měřit dlouhé zdvihy i pohyby o několik milimetrů. Oproti potenciometrům vykazuje výhodu v delší životnosti, jelikož nedochází ke kontaktnímu opotřebení jezdce. Jeho nevýhodou je nutnost napájení, jelikož se jedná o pasivní senzor a vyšší pořizovací cena oproti potenciometru [39; 40].





Obrázek 12 Lineární potenciometr tlumičů (modré táhlo) [41]

### 3.3.6 Akcelerometry

Tento typ senzoru lze použít k měření zrychlení nebo sil, a to vynásobením naměřeného zrychlení součtem hmotností vozidla a řidiče [42]. Nejběžnějším použitím v závodním voze je měření sil při zatažení a zrychlení/brzdění nebo ekvivalentně příčných a podélných sil [43]. Mohou být jednoosé, dvouosé nebo tříosé, což znamená, pro kolik os jsou schopny měřit zrychlení. Místo tříosého senzoru lze použít dva nebo tři jednoosé senzory orientované v různých směrech [33; 34].

Senzor se skládá z malého tělesa, které se může volně pohybovat podél jedné osy (u jednoosých akcelerometrů). Těleso je upevněno na vychylujících se nosnících, a když senzor zaznamená zrychlení ve směru povoleného pohybu, těleso se pohybuje a stlačuje nosníky. Tenzometry následně snímají průhyb nosníků a provedou jeho převod do podoby elektronického signálu [32].

Zrychlení nebo síly se udávají jako část gravitačního zrychlení ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) nebo gravitační síly [43]. Kalibraci tohoto senzoru lze provést pouze pomocí dvou bodů. Nejprve se senzor ponechá v klidu, což představuje nulovou hodnotu. Poté se senzor umístí tak, aby se směr osy měření vyrovnal s osou gravitačního působení, která odpovídá hodnotě 1 G. Pro kalibraci by měl být vůz samozřejmě umístěn na rovném povrchu. Akcelerometr musí být ustaven s odpovídající osou a zároveň co nejbližší těžišti vozidla. V opačném případě bude

senzor odečítat zkreslené hodnoty. Pokud jsou například akcelerometry upevněny daleko od těžiště, budou zaznamenávat chybné hodnoty způsobené buď zrychlením při klopení v zatáčkách nebo zrychlením při náklonu během akcelerace nebo brzdění [34]. Chybu měření dokáže rovněž ovlivnit přítomnost vibrací. Doporučuje se, aby byly senzory instalovány na pevné konstrukci se schopností odolávat vibracím [33].

Příčné tíhové zrychlení je dáno vztahem (5):

$$G_{\text{příčné}} = \frac{v^2}{g * r} \quad (5)$$

$G_{\text{příčné}}$  – příčné tíhové zrychlení [G]

$v^2$  – rychlost vozidla [m/s]

$g$  – normální tíhové zrychlení = 9,81 [m/s<sup>2</sup>]

$r$  – poloměr křivosti zatáčky [m]

Podélné tíhové zrychlení je dáno vztahem (6):

$$G_{\text{podélné}} = \frac{\Delta v}{g * \Delta t} \quad (6)$$

$G_{\text{podélné}}$  – podélné tíhové zrychlení [G]

$\Delta v$  – změna rychlosti vozidla (rozdíl výsledné a počáteční rychlosti) [m/s]

$g$  – normální tíhové zrychlení = 9,81 [m/s<sup>2</sup>]

$\Delta t$  – změna času (rozdíl konečného a počátečního času) [s]



Obrázek 13 Třiosý akcelerometr s detekcí stáčení vozidla [44]

Piezoelektrické akcelerometry používají jako snímací prvek piezoelektrický materiál, který může vysílat elektrický signál úměrný napětí, které na něj působí. Většina piezoelektrických senzorů zrychlení je vyrobena z křemenného krystalu, piezoelektrické keramiky, turmalínu či niobanu lithného. Piezoelektrické prvky v senzoru fungují jako pružina, která je spojena se seismickými hmotami. Jestliže působí na základnu senzoru zrychlení, generuje se na piezoelektrické prvky síla úměrná působícímu zrychlení a velikosti pohybové hmoty. Čím větší je tedy hmotnost nebo zrychlení, tím větší je působící síla a tím větší je elektrický výstup z těchto prvků. Díky svému širokému dynamickému měřicímu intervalu, frekvenčnímu rozsahu a možnosti výroby malých rozměrů, bývá používán v aplikacích, kde je třeba zachytit rázy a vibrace, aby bylo možné pochopit dynamické chování daného zařízení. Sensory klepání motoru a vertikálního zrychlení jsou nejběžnějšími aplikacemi pro závodní automobily [34; 36].

### 3.3.7 Sensory teploty

Většina metod měření teploty je založena na měření určité fyzikální vlastnosti kovu, která se mění v závislosti na teplotě. V některých případech je možné určit teplotu měřením tepelného vyzařování sledovaného materiálu. Výstup senzoru teploty se však vždy skládá z výstupního napětí, které odpovídá změně teploty. Existují dva základní typy měření teploty [33; 34]:

#### 1) Kontaktní měření teploty

Vyžaduje, aby byl senzor v přímém kontaktu s měřeným prostředím. Do této kategorie lze zařadit teplotu oleje, vody a vzduchu. Pro tyto aplikace se běžně používají termočlánky, termistory nebo odporová čidla teploty (RTD).

#### 2) Bezkontaktní měření teploty

Používá se pro měření teploty pneumatik nebo brzdových kotoučů pomocí infračervených (IR) senzorů.

Termočlánek se skládá ze dvou vodičů z odlišných materiálů navzájem svařených do spoje, který se nazývá měřicí uzel. Na druhém konci vodičů je další spoj, který se nazývá referenční uzel. Změna teploty v měřicím uzlu generuje ve vodičích proud úměrný změně teploty. Teplotu v měřicím spoji lze pak určit z typu použitého termočlátku, velikosti potenciálu a teploty referenčního uzlu. Velkou výhodou termočlátku je rozsah měření potenciálu. Mohou být dimenzovány na teploty od -270 do 1800 °C. Díky své jednoduché konstrukci jsou také velmi spolehlivé při vibracích a rázech. Nevýhodou použití tohoto typu

senzoru je, že vyžaduje speciální prodlužovací vodiče a kompenzaci referenčního uzlu. Termočlánky jsou k dispozici ve třech typech spojů: uzemněné, neuzemněné nebo odkryté. U uzemněného uzlu jsou termočláňkové vodiče připojeny k vnitřní straně stěny senzoru. U neuzemněného uzlu jsou vodiče odděleny od stěny senzoru. Proto je doba odezvy neuzemněného spoje pomalejší než u uzemněného spoje. V odkrytém uzlu vyčnívají vodiče termočláňku přímo ze stěny senzoru, tudíž mají přímý kontakt s prostředím. Daný typ uzlu vykazuje nejrychlejší dobu odezvy, ale jeho použití je omezeno na suché, nekorodující, popřípadě nepřetlakované prostředí. Bývá často využíván pro měření teploty vzduchu [34; 39].

Termistory mění svůj elektrický odpor v závislosti na teplotě. Obvykle jsou složeny ze dvou oxidů kovů zalitých ve skle nebo epoxidu. Termistory jsou k dispozici ve dvou typech: Pozitivní teplotní součinitel (PTC), kde odpor se zvyšuje s nárůstem teploty a záporný teplotní součinitel (NTC), načež odpor se s rostoucí teplotou snižuje. Změna odporu termistorů je zpravidla významná, což vede k vysoké citlivosti senzoru, ale měřicí rozsah je menší než u termočláňků (maximálně několik set stupňů Celsia). Vztah mezi teplotou a odporem není lineární, ale pomocí externích obvodů jej lze prakticky lineárním učinit. Termistory jsou jedním z nej přesnějších typů senzorů teploty [34; 39].

Odporová čidla teploty (RTD) pracují na stejném principu jako termistor. Pro měření teploty se využívá změna elektrického odporu. Snímací element je tvořen vinutým drátem nebo nanesenou vrstvou čistého kovu, jehož odpor byl zaznamenán při různých teplotách. Běžnými materiály používanými v rezistorech jsou platina, nikl nebo měď. RTD senzor má oproti termočláňku větší rozsah měření a jeho citlivost bývá na rozmezí mezi termočláňkem a termistorem. Charakteristika odporu vůči teplotě platinových odporových čidel je standardizovaná, což zajišťuje jejich vzájemnou nahraditelnost [34; 39].

Infračervené měření teploty (IR) se používá obzvláště pro měření teploty pneumatik a teploty brzdových kotoučů, ale možné aplikace zahrnují i teplotu spojky, teplotu alternátoru nebo elektrického motoru či dokonce detekci požáru v airboxu. Výhody infračerveného měření teploty jsou rychlá odezva (v řádu ms), měření teploty na pohybujících se tělesech, měření obtížně přístupných těles – velký rozsah měření, žádné teplotní zkreslení (nedochází ke ztrátám tepelné energie z tělesa). Naopak mezi nevýhodami lze uvést nutnost optické viditelnosti sledovaného tělesa vůči senzoru, náchylnost přesnosti měření na prach a nečistoty či schopnost měřit pouze povrchové teploty [34; 39].



Obrázek 14 IR senzor pro měření teploty brzdových kotoučů [45]

### 3.3.8 Senzory tlaku

Senzory tlaku se v závodních vozech používají pro měření tlaku motorového oleje, brzdového potrubí, chladicí kapaliny, paliva, vzduchu v sacím potrubí nebo aerodynamiky. Většina zařízení pro snímání tlaku v automobilových aplikacích využívá piezorezistivní polovodičovou technologii. Piezorezistivní senzor tlaku funguje na podobném principu jako tenzometr. Obsahuje snímací člen tvořený křemíkovým čipem s tenkou křemíkovou membránou a třemi nebo čtyřmi piezorezistory. Piezorezistivita polovodiče se týká změny odporu v důsledku deformace membrány v porovnání s referenčním tlakem. Hodnoty odporů se mění úměrně velikosti tlaku působícího na membránu. Tloušťka membrány určuje tlakový rozsah senzoru [34; 39].

Piezorezistivní senzory lze rozdělit podle závislosti na referenčnímu tlaku takto:

Senzor absolutního tlaku – referenční tlak vakuum (tlak oleje/paliva)

Senzor diferenčního tlaku – dva měřící otvory pro různé tlaky (Pitotova trubice)

Senzor manometrického tlaku – referenční atmosférický tlak (sací potrubí)

Stejný princip měření se používá u piezoelektrických fóliových senzorů. Tento typ senzoru se skládá z tenké fólie piezorezistivního materiálu, která je na každé straně spojena s elektricky vodivými elektrodami. Při působení síly na fólii vzniká elektrický proud, který je zesílen a převeden do digitální podoby. Mezi aplikace, pro které jsou tyto senzory vhodné, lze uvést měření síly, vibrační a rázů. Piezorezistivní fólie lze vyrábět v různých velikostech a tvarech a díky její tloušťce (25 až 120  $\mu\text{m}$ ) ji lze umístit mezi součásti, které jsou k sobě navzájem přišroubovány [34; 39].

### 3.3.9 TPMS

TPMS (tyre pressure monitoring system) je elektronický měřicí systém určený ke sledování tlaku vzduchu v pneumatikách, kde jeho hlavní funkce je především jako bezpečnostní zařízení, které upozorňuje na případné defekty pneumatik. Většina systémů pro motoristický sport se skládá ze senzorů, které jsou umístěny uvnitř každého ráfku, načež vysílají údaje o tlaku do přijímací jednotky umístěné ve vozidle prostřednictvím rádiové frekvence. Často se zaznamenává také teplota vzduchu uvnitř pneumatiky. Systém TPMS v motorsportu plní následující funkce [34; 40]:

- 1) Diagnostická funkce: detekce ztráty tlaku, defektu
- 2) Správné stanovení tlaku v pneumatikách: zjištění, zda je počáteční zvolený tlak ve studené pneumatice správný, zvýšení tlaku při zahřívání pneumatiky
- 3) Stanovení optimálního pracovního pásma pneumatiky
- 4) Využití v pokročilých matematických kanálech v softwaru pro analýzu dat: například závislost pružení pneumatik na jejich tlaku

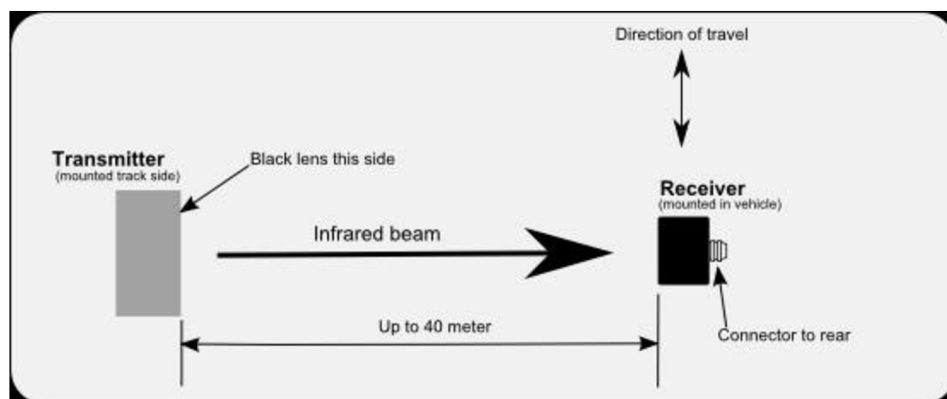
Většina závodních systémů TPMS také poskytuje signál o teplotě vzduchu uvnitř pneumatiky. Nejdůležitější je ovšem potřeba zjistit, co se děje s tou částí pneumatiky, která je v přímém kontaktu s vozovkou. To lze provést pomocí infračervených (IR) senzorů teploty nasměrovaných na běhoun pneumatiky. Montáž tohoto druhu senzoru může být někdy obtížná, zejména v přední části vozu, kde senzor koná pohyb společně s úhlem natočení volantu, aby bylo možné měřit pevný bod povrchu pneumatiky. Proto se nejčastěji využívají tři senzory na jednu pneumatiku, které jsou schopny poskytnout přesněji rozložení teploty po celé šířce pneumatiky. Rovněž poloha a vzdálenost senzorů vůči pneumatice ovlivňují přesnost měření. Sensory teploty pneumatik poskytují informace o optimálním pracovním pásmu pneumatiky, o čase potřebném k zahřátí pneumatiky na její provozní teplotu, vyvážení vozu a opotřebení pneumatik [34; 40].



Obrázek 15 IR senzor pro měření teploty pneumatik [46]

### 3.3.10 Systém pro měření času

Zařízení pro zaznamenávání času okruhu, jejich počet a pozice vozidla se nazývá beacon. Pracuje na principu infračerveného záření pro bezdrátový přenos dat. Systém měření času sestává z jednoho nebo více vysílačů instalovaných podél trati (nejčastěji na boxové zídce mířící na cílovou čáru) a přijímače umístěného ve vozidle. Přijímač je připojen k palubnímu displeji vozidla, data loggeru nebo řídicí jednotce. Beacon označuje začátek a konec každého okruhu, aby se zaznamenávaly a zobrazovaly časy a již dosažený počet. Pokud je kolem trati nainstalováno několik vysílačů beacon, může také vygenerovat dílčí časy jednotlivých sektorů. Tyto informace může systém sběru dat použít pro výpočty, jako je například zisk/ztráta času, kdy se aktuální čas okruhu zároveň s jeho mezičasy porovnává s referenčním (nejrychlejším) časem. Jezdci je tak na palubním displeji znázorněno, zda se časově zlepšuje nebo zhoršuje oproti dřívějšímu času okruhu [33; 34].



Obrázek 16 Systém beacon pro zaznamenávání časů okruhu [47]

V dnešní době může být jednotka GPS cenově výhodnou alternativou oproti tradičnímu systému měření časů okruhu. Polohu startovní/cílové čáry lze označit buď tlačítkem, které jezdec při průjezdu čarou ovládá, nebo zadáním geografických souřadnic přímo do systému sběru dat. Tuto polohu pak může data logger nebo displej použít místo beaconu pro výpočet času a software pro analýzu dat pro označení začátku každého okruhu. GPS zároveň umožňuje vygenerování mapy trati do softwaru pro analýzu dat [33; 34].

### 3.4 Data logger

Umístění jednotky pro záznam dat závisí na tom, zda je vestavěna do displeje, nebo zda se jedná o samostatnou jednotku. V prvním případě je nutné ji viditelně umístit pro řidiče, například na přístrojovou desku (součástí palubního displeje) nebo na volant. V druhém případě by měla být záznamová jednotka umístěna co nejnižší uvnitř vozidla a zároveň nejbližší jeho těžišti, aby se zlepšilo rozložení hmotnosti. Dále na místě vzdáleném od ostatních elektrických a elektronických součástí z hlediska vzniku elektromagnetického rušení. V ideálním případě na pevných konstrukcích, aby se zabránilo vibracím. Aby byl zaručen bezproblémový chod motoru, musí být parametry s ním související měřeny a zaznamenávány příslušnou elektronickou řídicí jednotkou (ECU). Většina řídicích jednotek motoru nabízí možnost připojení k data loggeru pro přenos parametrů souvisejících s motorem. Totéž platí současně v případě řídicí jednotky převodovky [33; 39].

Displej Bosch DDU 11 propojuje programovatelný displej přístrojové desky společně se systémem záznamu dat pro aplikace v motorsportu. Další vstupní zařízení lze připojit přes Ethernet, sběrnice CAN a rozhraní RS-232. Základní záznamovou funkci tvoří 100 kanálů s frekvencí záznamu 20 Hz (50 ms). Datový zápis lze rozšířit pro plný záznamový výkon 1 kHz (1 ms). Paměť má velikost 4 GB. Volitelný externí senzor GPS sleduje polohu vozu na závodní trati. Zároveň je displej vybaven led indikátory pro optimální dobu řazení rychlostních stupňů. S DDU 11 je k dispozici knihovna grafických prvků pro individuální design jednotlivých zobrazovaných stránek a nejmodernější menu uživatelského rozhraní. Pro rychlý přenos dat z vozu, například při zastávce v boxech, je volitelně k dispozici záznam dat na USB flashdisk [48].





Obrázek 17 Displej Bosch DDU 11 s integrovaným data loggerem [49]

### 3.5 Wintax 4

Wintax 4 je kompletní sada nástrojů pro analýzu dat vyvinutá společností Magneti Marelli pro nejpokročilejší úroveň motoristického sportu, jako jsou vozy Formule 1, prototypy pro vytrvalostní závody, WRC speciály, vozy kategorie GT nebo motocykly seriálu MotoGP a World Superbike. Kromě celé řady výkonných analytických funkcí nebo způsobů zobrazení je Wintax 4 navržen pro víceuživatelské prostředí (multilicence), kde jsou data sdílena po síti u trati. Nabízí ochranu dat, přídatné moduly a specializovanou podporu pro vývoj inovativních řešení, čímž nachází uplatnění pro nejnáročnější vývojové aplikace [50].

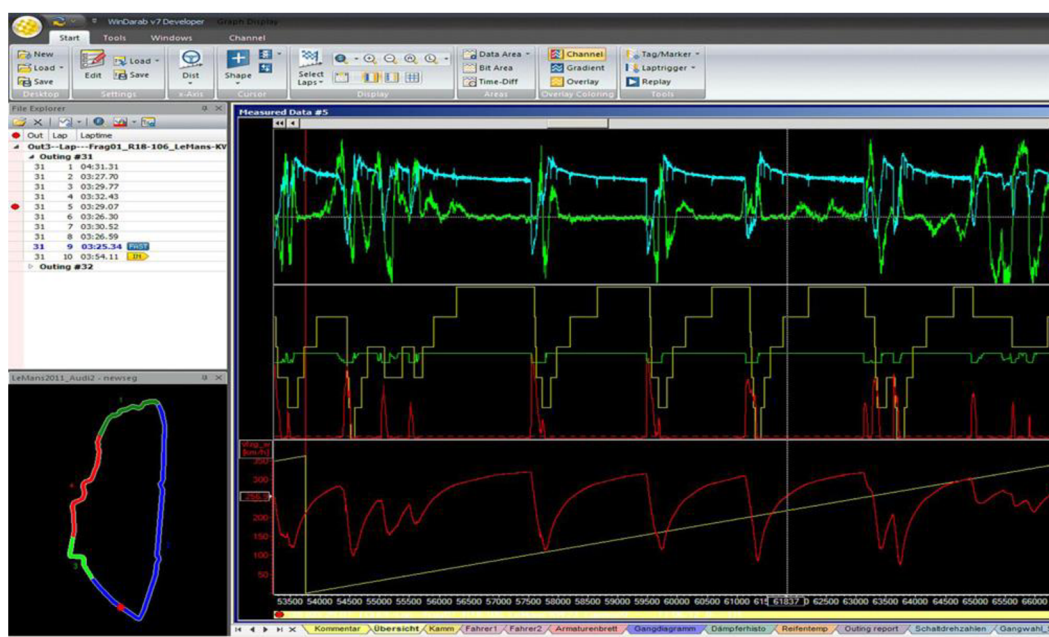
Hlavní část plochy okna Wintax 4 může obsahovat libovolnou kombinaci grafů nebo sestav, v nichž mohou být zaznamenaná data znázorněna různými způsoby. Běžně používané kombinace oken lze uložit jako uživatelsky definované uspořádání (Layouts). Okna pro zobrazení grafů umožňují zobrazit data v závislosti na čase nebo vzdálenosti v mnoha stylech, například překrývající se nebo vrstvené. Pokročilé rozptylové 2D/3D průběhy s více osami, regrese a filtrace umožňují provádět také komplexní statistickou analýzu. Přímý odkaz na exportování dat do tabulkového procesoru Excel. Matematické kanály jsou generovány od uživatele definované kombinace zaznamenaných datových signálů. Pokročilé kontroly pro automatické sledování motoru a podvozku lze zobrazit do průběhů dat jako symboly grafu nebo jako víceřádkové zprávy v režimu následného zpracování (post processing). Software umožňuje vypočítat a zobrazit přesnou jízdní stopu vozidel na trati.

Mapu trati lze automaticky vygenerovat pomocí základních datových kanálů, jako je zrychlení, rychlost a ujetá vzdálenost, nebo prostřednictvím souřadnic GPS. Kanály pro reportování stopy, které jsou užitečné pro identifikaci brzdných a akceleračních bodů, lze zobrazit na pozadí pomocí aplikace Google Earth [50].

### 3.6 WinDarab

WinDarab V7 od společnosti Bosch je nástroj pro sledování a analýzu zaznamenaných dat. Je speciálně navržen pro použití v motoristickém sportu. Data vozidla lze sledovat pomocí online telemetrie či je porovnávat načtením z data loggeru. WinDarab V7 je vybaven nejmodernějším uživatelským rozhraním, načez umožňuje spolehlivě snímat data z řídicích systémů motoru i podvozku. Oproti předchozí verzi nabízí zjednodušené ovládání, nové funkce a přepracovaný licenční systém pro provoz bez nutnosti hardwarového klíče. Podle účelu použití lze vybrat mezi verzí Free a Expert [51].

Pomocí softwaru RaceCon lze plně uzpůsobit prostředí danému výrobcí vozidla pro konkrétní diagnostické či analytické účely. Možnosti importu a exportu ve formátu ASCII usnadňují uživatelům práci s daty v různých formátech a sdílení dat s jinými softwarovými nástroji. Rovněž je software schopen importovat či exportovat data pro softwarové nástroje Excel či Matlab. Jedná se o nepoužívanější systém pro sběr dat ve vozech kategorie GT [51].



Obrázek 18 Software Bosch WinDarab V7 [52]

### 3.7 VBOX

VBOX HD2 HDMI od společnosti Racelogic umožňuje uživatelům přehrávat video a zvuk v reálném čase na obrazovku, videorekordér nebo streamovací zařízení, kompatibilní s rozhraním HDMI. Díky tomu představuje ideální nástroj pro živé přenosy přímo z kokpitu vozidla. Závodním týmům přináší možnost získat od jezdce okamžitou zpětnou vazbu. Systém se skládá ze dvou širokoúhlých kamer s rozlišením 1080 p, které umožňují hlavní záběr se zabudovanou funkcí „obraz v obraze“. Videozáznam se nahrává rychlostí 60 snímků za sekundu na kartu SD nebo na USB flashdisk [53].

Zobrazení se v reálném čase a ve vysokém rozlišení překrývá. To poskytuje uživateli velký prostor pro rozložení informačních panelů a měřicích ukazatelů vozidla. Ty lze získat připojením jednotky VBOX na sběrnici CAN Bus. Rozložení jednotlivých ukazatelů je plně konfigurovatelné. Systém spouští a zastavuje záznam podle rychlosti vozidla měřeného dle GPS. Díky funkci předvyrovnání paměti videa (pre-buffer) je tak automaticky zaznamenáván každý okamžik dění na trati, včetně startu závodu. Volitelné dálkové spuštění či zastavení záznamu je řešeno pomocí jednotky Bluetooth. Vestavěná baterie umožňuje správné ukončení aktuálního souboru v případě, že během nahrávání dojde ke ztrátě napájení, čímž je zajištěna ochrana proti ztrátě nebo poškození dat [53].

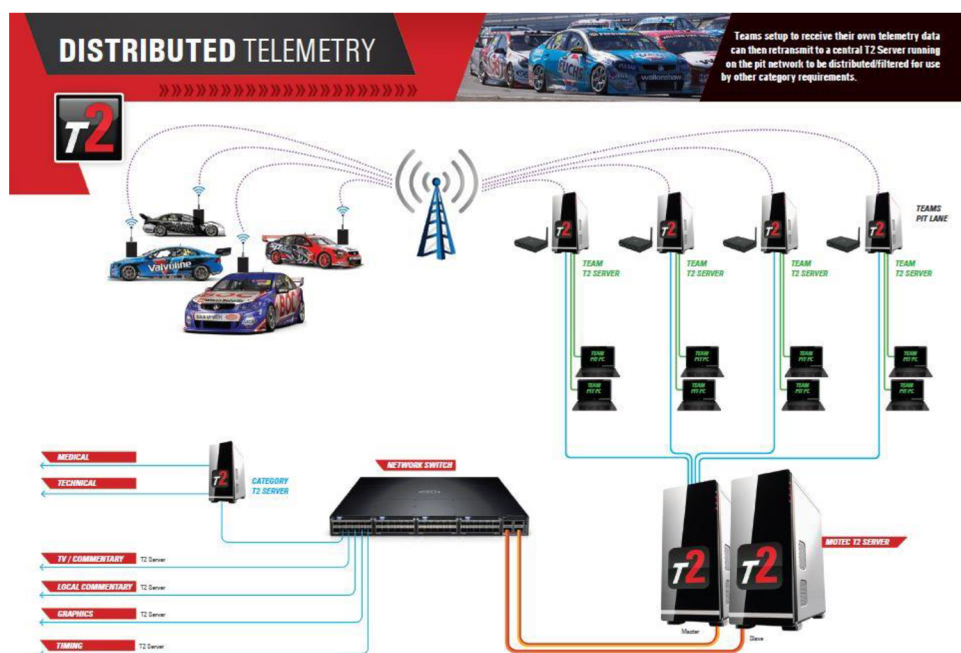


Obrázek 19 Systém pro záznam onboard videa VBOX HD2 [54]

### 3.8 MoTeC T2 Telemetry

Server T2 od společnosti MoTeC je univerzálním telemetrickým systémem, který umožňuje vytvořit centralizované pracoviště pro příjem, zpracování a vysílání velkého počtu nezávislých telemetrických datových toků. V kombinaci s loggerem modelové řady L120 lze prostřednictvím serveru T2 odeslat až 300 jednotlivých kanálů a živě je zobrazit v systému pro analýzu dat i2 Pro. S využitím vestavěného filtrování a bezpečnostního šifrování lze výstupní datové toky přizpůsobit tak, aby umožnily živé sledování určených dat pouze příslušným uživatelům [55].

Systém se skládá z řídicí jednotky, vysílače přenosu se slotem pro GSM kartu, který se nachází ve vozidle a dále z přijímače, který je umístěn v týmovém boxu. Lze taktéž využít data logger L120 jako řídicí jednotku telemetrického systému T2, pokud je vozidlo vybaveno palubním systémem od jiného výrobce než MoTeC. L120 umožňuje přijímat informace z většiny ostatních uzlů na sběrnici CAN (z řídicích jednotek a z ostatních data loggerů), převádět je na datový tok pro komunikační server systému T2 a vysílat je z vozu přes VPN pro příjem na straně týmu v boxech. Server T2 umožňuje, aby byl každý kanál vysílán svou vlastní rychlostí přenosu. Snížením rychlosti kanálů, které nevyžadují vysoké rozlišení, se uvolní šířka pásma pro další kanály nebo pro vysoké přenosové rychlosti dynamicky se měnících kanálů [55].



Obrázek 20 Schéma telemetrického systému T2 [56]

## 4 Praktická část práce

### 4.1 Ferrari 488 Challenge

Vůz Ferrari 488 Challenge [Příloha č. 1] lze charakterizovat jako závodní speciál značky Ferrari, který koncepčně vychází ze sériově vyráběného modelu 488 GTB. Spadá do kategorie takzvaných cupových neboli pohárových závodních vozů, které se vyznačují vysokým podílem součástí odvozených či sdílených se svými výchozími sériovými modely. Rovněž v pohárových závodech platí, že všechny vozy startovního pole jsou shodné, čímž jsou zaručeny vyrovnané podmínky pro závodní jezdce. Speciál 488 Challenge se zúčastňuje seriálu závodů Ferrari Challenge, které pořádá samotná automobilka. Lze se jej zúčastnit pouze jakožto tým, který je součástí oficiálního dealera Ferrari. Šampionát vznikl v roce 1993, přičemž se v jeho historii postupně vystřídal šest modelů závodních speciálů. Je rozdělen celosvětově do tamních sérií, jakožto série Europe, North America, Great Britain a Asia. Sezona vyvrcholí světovým finále (Finali Mondiali), kde se proti sobě představí ti nejlepší jezdci ze všech světových sérií.

488 Challenge je stejně jako verze GTB poháněna motorem s označením F154. Jedná se o osmiválcový motor se zdvihovým objemem 3,902 litrů umístěný uprostřed vozidla. Motor je dále přeplňován dvěma dvoukomorovými turbodmychadly značky IHI. Produkuje výkon 492 kW při 8000 otáčkách za minutu a točivý moment 760 Nm, přičemž měrný výkon má velikost 126 kW/litr. Od sériově vyráběné verze se odlišuje agresivnějším managementem určeným pro závodní účely a odlišnou konstrukcí pístů, díky kterým se zvýšil kompresní poměr na hodnotu 9,8 [57].

Vůz je dále vybaven sedmistupňovou poloautomatickou převodovkou Getrag s možností řazení rychlostních stupňů pádly pod volantem. Převodovka vychází ze sériově vyráběného modelu 488 GTB, ačkoliv se její skříň odlišuje ve složení materiálu pro zvýšení pevnosti a současně je vybavena silentbloky uložené se zvýšenou tuhostí. Převodové stupně šest a sedm jsou zkráceny z důvodu vhodnějšího využití v závodní aplikaci. Dále je vůz vybaven aerodynamickými prvky vyrobených z uhlíkových vláken. Konkrétně zadním přítlačným křídlem, spoilerem předního nárazníku (splitterem) a zadním difuzorem. Dále využívá karbon-keramických brzd Brembo. Dle FIA homologace je vybaveno trubkovým ochranným rámem, hasicím systémem a skořepinovou sedačkou s vícebodovými pásy [57].

#### 4.1.1 Příprava vozu 488 Challenge na závodní podniky

Údržba a příprava vozu na jednotlivé podniky je jednou z nejdůležitějších činností každého závodního týmu. Závodní vůz musí být precizně připraven, jelikož bývá vystavován extrémním podmínkám. U konkrétního vozu je nutné věnovat zvýšenou pozornost zejména brzdovému ústrojí, které, ačkoliv je zhotoveno z karbon-keramického materiálu, při ostré závodní jízdě vykazuje poměrně značné opotřebení. Systém je sice vybaven čidlem opotřebení brzdových destiček i kotoučů, nicméně mechanik musí pravidelně po každé jízdě provést i vizuální kontrolu. Cena systému Brembo není rovněž příznivá. I když je daný brzdový systém odolný vůči vadnutí a zvlnění brzdových kotoučů, z hlediska provozu vozidla není daný systém ideální. Rovněž je vozidlo vybaveno plastovými podběhy karoserie. Jde sice oproti kevlarovému typu, kterým je vybaven model 488 GT3, o levnější variantu, nicméně odolnost podběhu je velmi nízká, jelikož daný materiál není schopen v delší časové míře vzdorovat nečistotám na trati jako je štěrk či nabalené kusy zbytků pneumatik, které ulpívají na chladicí mřížce vedoucí k turbodmychadlům, čímž snižují její funkčnost. Rovněž neodolávají vibracím a rázům, což má za následek časté poškození jejich nálitku pro uchycení šroubu ke spojení s karoserií. V neposlední řadě rovněž nevykazují dostatečnou odolnost spojovací táhla pro seřízení sbíhavosti kol na zadní nápravě, které při agresivnější jízdě přes obrubníky vykazují v kloubku po určité době značnou vůli a nepříznivým způsobem tak ovlivňují geometrii kola a jízdní vlastnosti vozu. Všechny tyto části jsou bolestmi daného vozu a mechanici musí provádět jejich soustavnou kontrolu.

Mimo pravidelnou údržbu vozidla předepsanou výrobcem, jako je například výměna motorového a převodového oleje, zapalovacích svíček či spodních ramen přední nápravy, je třeba vůz také připravit z hlediska jeho nastavení neboli setupu. Každá trať a jezdec vyžadují specifický setup. Vůz umožňuje nastavit polohu zkrutného stabilizátoru ve třech polohách, odklon kol pomocí podložek mezi ramenem a rámem vozidla, sbíhavost kol pomocí spojovacích táhel, světlou výšku vozidla nastavenou na tlumičích, respektive pružinách nebo polohu zadního přítlačného křídla. Ferrari rovněž umožňuje volit a popřípadě zakoupit dvě sady tlumičů a pružin s odlišnými charakteristikami. To vše lze kombinovat s nastavením kontroly trakce a systému ABS. Každý provedený setup se eviduje do příslušného formuláře a následně archivuje pro následující podniky [Příloha č. 2].

#### 4.1.2 Využití dat pro změnu nastavení vozu

488 Challenge je vybaven řídicí jednotkou motoru od společnosti Bosch. Rovněž motor využívá namísto snímače klepání pro měření a nastavení předstihu zapalování řídicí jednotku Eldor, která snímá ionizační proudy ve spalovacím prostoru. Systém pro sběr dat však vytvořila společnost Magneti Marelli. Tudíž pro analýzu dat získaných z vozidla bývá využíván software Wintax 4, který je přizpůsoben přímo pro funkce a potřeby Ferrari Challenge [57].

Příklad využití dat je demonstrován z třídního testování na okruhu Hungaroring v Maďarsku [Příloha č. 3]. Konkrétní příklad se datuje na 31.5.2022. Venkovní teplota dosahovala 30 °C. Hungaroring lze charakterizovat jako krátkou technickou trať, která se vyznačuje vysokou náročností pro pneumatiky, konkrétně nalezením jejich správného výkonnostního pásma. První kolo (tyrkysové křivky) bylo zaznamenáno v situaci, kdy na voze byly instalovány tlumiče a pružiny s měkčí charakteristikou. Přední stabilizátor byl v poloze „soft“ a zadní v poloze „medium“. Tlak pneumatik byl před výjezdem vozu na trať nastaven na vyšší hodnotu. Po příjezdu do boxů si jezdec stěžoval na nestabilní vozidlo při nájezdu do zatáček během fáze brzd. Dále pociťoval po určitém počtu kol nedostatek přilnavosti v zatáčkách vlivem přehřátí pneumatik a nadměrnému zvýšení jejich hodnoty tlaku. Po konzultaci s jezdce byla provedena změna setupu, kdy byly instalovány tlumiče a pružiny s tvrdší charakteristikou a změna polohy stabilizátoru do polohy vpředu „medium“ a vzadu „soft“. Rovněž byla snížena hodnota tlaku pneumatik před výjezdem na trať. Nastalo zklidnění vozu během brzdění při nájezdu do zatáček (označeno modrým kruhem) a současně možnost dříve aplikovat plný plyn, což lze rozpoznat na signálu polohy škrťací klapky (označeno žlutý kruhem) a agresivnější řazení rychlostních stupňů, což označuje signál otáček motoru (označeno zeleným kruhem). V technické části trati bylo akcelerometrem zaznamenáno vyšší boční přetížení, tudíž pneumatiky dokázaly poskytnout vyšší přilnavost. Výsledkem těchto změn byl téměř o dvě vteřiny rychlejší čas daného kola (červené křivky). Po příjezdu jezdce do boxů rovněž pneumatiky vykazovaly rovnoměrnější opotřebení. Tento setup byl následně použit pro závodní víkend, kdy jezdec obsadil v sobotní i nedělní rozjížděcí celkové třetí místo.

### 4.1.3 Využití palubního videozáznamu

Palubní videozáznam či onboard video má v motoristickém sportu důležité zastoupení. Je schopen jezdcí i týmu poskytnout další datovou analýzu. Z onboard videa lze snadno vyčíst výkon jezdce v mnohých případech rychleji a účinněji než výčtem z datových signálů. Jezdec navíc může týmu názorně ukázat i chování vozidla či poukázat na jeho poruchu. Zároveň lze při dnešních technologiích poskytovat živý přenos přímo z vozu, což využívá tým pro sledování situace ve voze i na trati a následnou komunikaci s jezdce. Taktéž tento systém využívají závodní koučové, kteří sledují živě jízdu svého svěřence a přes radiokomunikaci mu poskytují instrukce a informace pro zlepšení jízdního výkonu.

Ferrari 488 Challenge je vybaveno onboard systémem VBOX HD2 od společnosti Racelogic. Systém se skládá z řídicí jednotky, která je napájena z vozu a umožňuje připojení ke sběrnici CAN, a tudíž promítat datové kanály na grafiku displeje. Dále z mikrofonu pro záznam zvuku a dvou širokoúhlých kamer s držáky připevněnými na trubkový rám. Součástí systému je i software pro konfiguraci grafiky zobrazení. Užitečným nástrojem od VBOX je rovněž software Circuit Tools, který umožňuje souběžně promítat dvě onboard videa současně, což je v poslední době velkým trendem v oblasti závodního koučinku. Systém rovněž poskytuje graf s kanály pro analýzu dat souběžně s videem [Příloha č. 4].

## 4.2 Ferrari 488 GT3

Ferrari 488 GT3 [Příloha č. 5] je závodní speciál automobilky Ferrari, který vytvořila společnost Michelotto Automobili. Ta spolupracuje s automobilkou již několik let, zejména ve výrobě závodních speciálů určených pro vytrvalostní závody. Konkrétní vůz byl vytvořen pro kategorii GT3 (gran turismo), což jsou obvykle závodní speciály vycházející ze sériově vyráběných modelů různých značek. Kategorie GT má mnohaletou historii a vysokou prestiž, neboť startovní pole čítá velké množství speciálů různých výrobců, jako například již zmíněné Ferrari, Lamborghini, Aston Martin, McLaren, Audi, BMW, Mercedes nebo Porsche. Po celém světě se pořádá několik různých šampionátů a typů závodů. Počínaje hodinovými sprinty až po 24hodinové vytrvalostní závody, z nichž nejznámější jsou 24 hodin Le Mans nebo 24 hodin Nürburgring na slavné trati Nordschleife. Vůz 488 GT3 absolvoval první kompletní sezonu v roce 2017 a do loňské sezony dokázal vyhrát více než pět set závodů, což z něj činí nejúspěšnější vůz kategorie GT3 v historii.



488 GT3 je poháněno stejně jako 488 Challenge motorem V8 o objemu 3,902 litrů se dvěma dvoukomorovými turbodmychadly od společnosti IHI, které jsou však značně přepracovány a uzpůsobeny pro aplikaci ve vytrvalostních závodech. Zejména je zde vylepšeno chlazení turbodmychadel se zvětšenými mezichladiči a regulace tlaku turbodmychadla. Ta je řízena elektropneumaticky. Systém pro regulaci turbodmychadel sestává z 6 solenoidů, 2 senzorů tlaku ve wastegate a 2 senzorů tlaku v airboxu. Řízení musí být elektronicky nastavitelné, protože v rámci BOP (Balance of performance), což znamená vyvážení výkonnosti různých vozidel ve startovním poli, pořadatel závodu určuje povolené hodnoty plnicího tlaku turbodmychadel a zároveň si poté vyžádá data pro kontrolu dodržovaného plnicího tlaku. Motor je vybaven řídicí jednotkou Bosch MS 6.4. Má funkci řízení strategie motoru, což znamená možnost volby různých palivových map, které tým využívá pro strategii s šetřením paliva během závodu. Rovněž řídicí jednotka řídí strategii a ukazatel zařazení rychlostních stupňů a nastavení kontroly trakce. Spolupracuje s palubním displejem Bosch DDU 7, který poskytuje jezdcům potřebné informace během závodu. DDU 7 obsahuje rovněž integrovaný data logger pro sběr dat určených k jejich analýze pomocí systému WinDarab [58].

Převodovka vozidla je sekvenční šestistupňová od firmy Xtrac, kde řazení rychlostních stupňů se provádí pádly pod volantem. Skříň převodovky je vyrobena ze slitin hořčíku. Její řízení zajišťuje řídicí jednotka motoru MS 6.4. Řazení rychlostních stupňů probíhá elektropneumaticky, kdy snímače pod pádly na volantu přivedou signál řídicí jednotce, která aktivuje systém IVA. IVA (integrated valve actuator) je součástí, která obsahuje dva pneumaticky řízené ventily pro řazení rychlostních stupňů. Zároveň má v sobě integrovaný zdvojený bezkontaktní snímač polohy řadicího válce, který sleduje napětí každého rychlostního stupně a poskytuje tak případná diagnostická data. Součástí pneumatického systému převodovky je i kompresor a zásobník stlačeného vzduchu, které jsou i využívány pro regulaci turbodmychadel. Řídicí jednotka MS 6.4 během činnosti musí rovněž obstarat vypínání zapalování, ukazatel rychlostních stupňů a barevnou LED indikaci pro správnou strategii jejich řazení [58].

Vozidlo je dále vybaveno součástmi důležitými pro aplikaci ve vytrvalostních závodech. Jedná o systém mazání se suchou skříní, který obsahuje i speciální ventil pro doplňování přehřátého oleje během zastávky v boxech. Dále ventil pro doplňování chladicí kapaliny či přídavné světlomety pro jízdu v noci nebo integrované matice kol [58].

#### 4.2.1 Příprava vozu 488 GT3 na závodní podniky

Vozidlo 488 GT3 je mnohem komplikovanějším a propracovanějším závodním speciálem oproti 488 Challenge. Během závodu vykazuje mnohem vyšší odolnost vůči extrémním podmínkám. Nicméně jeho následná údržba a příprava na závodní podniky bývá mnohem náročnější a nákladnější. Oproti 488 Challenge má 488 GT3 zcela přepracované nápravy, které vykazují lepší kinematické vlastnosti a vyšší odolnost při jízdě přes obrubníky. Také má vozidlo o 150 kg nižší hmotnost a nižší polohu těžiště. Dále jsou zde také plně nastavitelné tlumiče od společnosti Multimatic, jejichž součástí jsou potenciometry pro měření jejich zdvihu nebo nastavitelné rozložení brzdového účinku. Oproti vozu 488 Challenge je 488 GT3 postavena na širších pneumatikách. Výsledkem těchto rozdílných vlastností je v průměru o 2–3 vteřiny rychlejší čas na kolo ve prospěch 488 GT3.

Společnost Michelotto předepisuje preventivní výměnu součástí podle ujetých kilometrů, které se musí evidovat společně s provozem vozidla. Zároveň je určen počet motohodin pro revizi motoru. Před 24hodinovým závodem je nutné provést danou sérii servisních úkonů. Motor vyžaduje výměnu oleje, vzduchových filtrů a kontrolu systému wastegate turbodmychadel. Spojkové lamely, které jsou zhotoveny z uhlíkových vláken, musí být vyčištěny a zároveň zkontrolovány z hlediska opotřebení, které nesmí překročit minimální tloušťku. Převodovka musí být taktéž zrevidována, zejména je nutná výměna oleje a kontrola zubových spojek pro řazení převodových stupňů. S tím souvisí i pravidelná revize systému řazení IVA společně s kompresorem a zásobníkem vzduchu. Rovněž probíhá výměna oleje diferenciálu s kontrolou lamel určených k samosvornosti. Musí být rovněž kontrolovány poloosy s pravidelnou výměnou plastického maziva kloubů. Brzdové válce jsou kontrolovány na těsnost, s čímž souvisí i kontrola brzdových třmenů s výměnou těsnění brzdových pístků. Rovněž je nutné provést revizi řídicí jednotky motoru a palubního displeje, kterou provádí výrobce Bosch [58].

Vozidlo má k dispozici kromě nastavitelných tlumičů i několik sad pružin různých tuhostí. Nastavitelné jsou rovněž odklony a sbíhavost kol. Vůz je vybaven sofistikovanějším nožovým zkrutným stabilizátorem, který umožňuje široký rozsah nastavení tuhosti pomocí úhlu natočení daného nože. Samozřejmostí je nastavitelná světlá výška vozidla společně s polohou zadního přítlačného křídla. Vozidlo rovněž umožňuje nastavení předpětí diferenciálu. Setup vozidla se eviduje do příslušného formuláře [Příloha č. 6].

#### 4.2.2 Využití telemetrie

Vozidlo 488 GT3 je vybaveno telemetrickým systémem T2 od společnosti MoTeC. Uvnitř vozidla se nachází telemetrická řídicí jednotka L120, která zároveň funguje jako data logger. Ta komunikuje přes sběrnici CAN Bus s řídicí jednotkou MS 6.4 nebo palubním displejem DD7. S řídicí jednotkou je taktéž spojen GSM vysílač, který má v sobě zabudovaný slot pro sim kartu, která je poskytnuta providerem internetového připojení. Díky tomu dokáže přes VPN spojení komunikovat s přijímačem GSM signálu umístěným v boxech. Tým se připojí na server T2, který dokáže zašifrovat daný datový tok určený příslušným přijímacím zařízením. Připojení probíhá přes síť 4G, která poskytuje dostatečně rychlý datový přenos.

Sledování telemetrických dat probíhá přes analytický software i2 Pro. Rozložení grafiky zobrazení jednotlivých kanálů a ukazatelů bývá nadefinováno dle individuálních požadavků každé automobilky. Pro vozidlo Ferrari 488 GT3 je největší důraz kladen na diagnostické kanály a ukazatele [Příloha č. 7]. Zejména jsou dominantní sloupcové grafy vyznačující teplotu a tlak v pneumatikách, které v závislosti na aktuálním výkonostním pásmu mění svoji barvu. V optimálním pásmu má graf zelenou barvu a v nežádoucích pásmech je zbarven červenou barvou. Mezi sloupcovými grafy se nachází rovněž spojité grafy pro teplotu a tlak pneumatik. Významným ukazatelem jsou také alarmy důležitých komponent vozu, jakožto alarm systému ABS, alarm tlaku oleje motoru a převodovky a jeho teplota nebo měření napětí v palubní síti.

Jedním z nejpodstatnějších ukazatelů je stav paliva v nádrži, neboť týmu umožňuje plánovat strategii zastávek v boxech. Součástí údajů o spotřebě paliva je tabulka, která znázorňuje spotřebu paliva v každém kole. Obsažen je taktéž ukazatel času jezdce stráveného ve vozidle, což je důležité z hlediska strategie závodu, neboť jezdcům je umožněno absolvovat určitý časový interval jízdy. Ve vytrvalostních závodech po naplnění tohoto intervalu musí proběhnout střídání jezdců během zastávky v boxech, jinak by tým obdržel penalizaci. Nechybí ani mapa trati s aktuální polohou vozidla.

## 5 Závěr

Bakalářská práce popisuje problematiku a způsoby využití sběru dat a telemetrie pro účely závodních vozů. Nastíněna je zde problematika základního zpracování signálu a jeho nejpoužívanější typy v automobilovém odvětví. Důležitou součástí palubního systému vozidel jsou také datové sběrnice. Nejzákladnější typy LIN Bus a CAN Bus jsou dodnes dominantními zástupci v aplikaci pro závodní vozy, proto jsou těmto typům věnovány samostatné kapitoly s přihlédnutím na jejich způsob komunikace a charakteristický datový rámec. Následující problematika byla věnována charakteristice senzorů. Počátek kapitoly byl věnován teoretickému popisu a účelu použití senzorů v automobilovém průmyslu. Dále byly postupně popisovány nejpoužívanější typy v motoristické aplikaci, kdy informace byly získávány od jednotlivých výrobců.

Systémy pro sběr a analýzu dat mají v současném motoristickém sportu nepostradatelné uplatnění. Závodní speciály se každým rokem stávají více sofistikovanými, tudíž bývají kladeny vyšší nároky na jejich kvalitu a jejich široký rozsah funkcí. Jsou zde stručně vyjmenovány a popsány nejpoužívanější systémy v současné aplikaci závodních speciálů, kdy opět byly využity jako zdroj informací katalogy jednotlivých renomovaných výrobců. Na závěr teoretické části práce byl proveden také stručný popis nejpoužívanějšího telemetrického systému MoTeC T2 Telemetry, který využívá pro své účely tým Scuderia Praha Racing.

Praktická část práce byla věnována způsobu analýzy dat vozu Ferrari 488 Challenge Evo. Jako nástroj byl využit analytický software Wintax 4 od společnosti Magneti Marelli, který je uzpůsoben speciálně pro komunikaci s vozem Ferrari 488 Challenge. Konkrétní problematika se zabývala analýzou jízdního výkonu jezdce. Dále jsou v práci vysvětleny rozdíly a způsoby nastavení a přípravy pro závodní podniky vozů Ferrari 488 Challenge a Ferrari 488 GT3.

Závěrem lze usoudit, že nevýhodou systému Wintax 4 je nedostatečná technická podpora, konkrétně způsob spolupráce s automobilkou. Většina funkcí systému bývá automobilkou uzamčena a hlavním problémem je absence manuálu, který by vysvětlil souhrn jednotlivých datových kanálů na voze 488 Challenge. Současně karbon-keramický brzdový systém na konkrétním voze není vhodný pro dlouhodobé využívání z ekonomického i spolehlivostního hlediska. Od týmu proto byly sděleny poznatky přímo automobilce, aby nedostatky na následujícím modelu 296 Challenge byly vyřešeny.

## 6 Seznam použitých zdrojů

- [1] KHAN, Shadab a Siddharth SONTI. Data acquisition system for a 600cc formula SAE race car. In: *2009 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)* [online]. IEEE, 2009, s. 46-49 [cit. 2023-02-12]. ISBN 978-1-4244-5442-6. Dostupné z: doi:10.1109/ICVES.2009.5400316
- [2] BANERJEE, A, A JINDAL, A SHANKAR, V SACHDEVA a M KANTHI. Motorsport Data Acquisition System and Live Telemetry using FPGA based CAN controller. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. 2022, (1) [cit. 2022-12-26]. ISSN 1742-6588. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/2161/1/012041
- [3] IN JONG KIM, a SUNGPIL LEE. Development of telemetry data processing program. In: *2013 International Conference on ICT Convergence (ICTC)* [online]. IEEE, 2013, s. 468-473 [cit. 2023-02-12]. ISBN 978-1-4799-0698-7. Dostupné z: doi:10.1109/ICTC.2013.6675398
- [4] WALDO, J. Embedded computing and Formula One racing. *IEEE Pervasive Computing* [online]. 2005, 4(3), 18-21 [cit. 2023-02-12]. ISSN 1536-1268. Dostupné z: doi:10.1109/MPRV.2005.56
- [5] FONTANELLA, Alessandro, Riccardo DEFILIPPI, Emanuele TORTI, Giovanni DANESE a Francesco LEPORATI. High Speed Wireless Optical System for Motorsport Data Loggers. *Electronics* [online]. 2019, (8) [cit. 2022-12-26]. ISSN 2079-9292. Dostupné z: doi:10.3390/electronics8080873
- [6] HÄBERLE, Heinz O. *Průmyslová elektronika a informační technologie*. Vyd. 1. Přeložil Jiří HANDLÍŘ. Praha: Europa-Sobotáles, 2003. ISBN 80-86706-04-4.
- [7] ČUPERA, Jiří a Pavel ŠTĚRBA. *Automobily: Diagnostika motorových vozidel I*. 4. vydání. Brno: Avid, s.r.o., 2021. ISBN 9788087143452.
- [8] REMEK, Branko, Petr HATSCHBACH a Jiří VÁVRA. *Experimentální metody a měření v dopravní technice*. 2., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 9788001049211.

- [9] COLODRO, Francisco, Juana MARTÍNEZ-HEREDIA, José MORA a Antonio TORRALBA. Correction of errors and harmonic distortion in pulse-width modulation of digital signals. *AEU - International Journal of Electronics and Communications* [online]. 2021, **142** [cit. 2023-02-13]. ISSN 14348411. Dostupné z: doi:10.1016/j.aeue.2021.153991
- [10] HOLTZ, J. Pulsewidth modulation for electronic power conversion. *Proceedings of the IEEE* [online]. 1994, **82**(8), 1194-1214 [cit. 2023-02-14]. ISSN 00189219. Dostupné z: doi:10.1109/5.301684
- [11] GOLDBERG, J.M. a M.B. SANDLER. Pseudo-natural pulse width modulation for high accuracy digital-to-analogue conversion. *Electronics Letters* [online]. 1991, **27**(16) [cit. 2023-02-14]. ISSN 00135194. Dostupné z: doi:10.1049/el:19910933
- [12] NAVET, Nicolas a Françoise SIMONOT-LION. *Automotive embedded systems handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2009. Industrial information technology series. ISBN 978-0-8493-8026-6.
- [13] LEEN, G. a D. HEFFERNAN. Expanding automotive electronic systems. *Computer* [online]. **35**(1), 88-93 [cit. 2023-02-15]. ISSN 00189162. Dostupné z: doi:10.1109/2.976923
- [14] NOLTE, T., H. HANSSON a L. LO BELLO. Automotive Communications - Past, Current and Future. In: *2005 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation* [online]. IEEE, 2005, s. 985-992 [cit. 2023-02-15]. ISBN 0-7803-9401-1. Dostupné z: doi:10.1109/ETFA.2005.1612631
- [15] JOHANN, Stelzer. LIN bus emerging standard for body control apps. In: *Electronicdesign.com* [online]. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/21797101/lin-busan-emerging-standard-for-body-control-applications>
- [16] TAKAHASHI, Junko, Yosuke ARAGANE, Toshiyuki MIYAZAWA, Hitoshi FUJI, Hirofumi YAMASHITA, Keita HAYAKAWA, Shintarou UKAI a Hiroshi HAYAKAWA. Automotive Attacks and Countermeasures on LIN-Bus. *Journal of Information Processing*. 2017, **25**, 220-228. Dostupné z: doi:10.2197/ipsjjip.25.220

- [17] ZENG, Weiyang, Mohammed KHALID a Sazzadur CHOWDHURY. In-Vehicle Networks Outlook: Achievements and Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* [online]. 2016, **18**(3), 1552-1571 [cit. 2023-02-15]. ISSN 1553-877X. Dostupné z: doi:10.1109/COMST.2016.2521642
- [18] ISO - ISO/CD 11898-1 - Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 1: Data link layer and physical coding sub-layer: Data link layer and physical coding sub-layer. Dostupné také z: <https://www.iso.org/standard/83292.html>
- [19] ISO - ISO 11898-2:2016 - Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 2: High-speed medium access unit: 2016 - Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 2. Dostupné také z: <https://www.iso.org/standard/67244.html>
- [20] ISO - ISO 11898-3:2006 - Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 3: Low-speed, fault-tolerant, medium-dependent interface: 2006 - Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 3. Dostupné také z: <https://www.iso.org/standard/36055.html>
- [21] LUO, Jia-Ning, Chang-Ming WU a Ming-Hour YANG. A CAN-Bus Lightweight Authentication Scheme. *Sensors* [online]. 2021, **21**(21) [cit. 2023-02-15]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s21217069
- [22] JAVAID, Mohd, Abid HALEEM, Ravi Pratap SINGH, Shanay RAB a Rajiv SUMAN. Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications. *Sensors International* [online]. 2021, **2** [cit. 2022-12-27]. ISSN 26663511. Dostupné z: doi:10.1016/j.sintl.2021.100110
- [23] SCHOLL, G., R. HEYNICKE, D. KRUSH, B. KÄRCHER, J. RITTER, P. GAGGERO a M. RENTSCHLER. A8.1 - IO-Link Wireless Enhanced Sensors and Actuators for Industry 4.0 Networks. In: *Proceedings Sensor 2017* [online]. AMA Service GmbH, Von-Münchhausen-Str. 49, 31515 Wunstorf, Germany, 2017, s. 134-138 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: doi:10.5162/sensor2017/A8.1
- [24] LEE, Sungwon, Amir REUVENY, Jonathan REEDER et al. A transparent bending-insensitive pressure sensor. *Nature Nanotechnology* [online]. 2016, **11**(5), 472-478 [cit. 2023-02-22]. ISSN 1748-3387. Dostupné z: doi:10.1038/nnano.2015.324

- [25] RAI, Vineet Kumar. Temperature sensors and optical sensors. *Applied Physics B* [online]. 2007, **88**(2), 297-303 [cit. 2023-02-22]. ISSN 0946-2171. Dostupné z: doi:10.1007/s00340-007-2717-4
- [26] MOHEIMANI, Reza, Abdolreza PASHARAVESH, Mangilal AGARWAL a Hamid DALIR. Mathematical Model and Experimental Design of Nanocomposite Proximity Sensors. *IEEE Access* [online]. 2020, **8**, 153087-153097 [cit. 2023-02-22]. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2020.3017144
- [27] FARAHANI, Hamid, Rahman WAGIRAN a Mohd HAMIDON. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review. *Sensors* [online]. 2014, **14**(5), 7881-7939 [cit. 2023-02-22]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s140507881
- [28] VECCHI, Fabrizio, Cinzia FRESCHI, Silvestro MICERA, Angelo M SABATINI, Paolo DARIO a Rinaldo SACCHETTI. Experimental evaluation of two commercial force sensors for applications in biomechanics and motor control. In: *5th Ann. Conf. of Int. FES*. 2000.
- [29] EJEIAN, Fatemeh, Shohreh AZADI, Amir RAZMJOU, Yasin OROOJI, Ajay KOTTAPALLI, Majid Ebrahimi WARKIANI a Mohsen ASADNIA. Design and applications of MEMS flow sensors: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*. Elsevier, 2019, **295**, 483-502. ISSN 0924-4247.
- [30] WANG, Chengxiang, Longwei YIN, Luyuan ZHANG, Dong XIANG a Rui GAO. Metal oxide gas sensors: sensitivity and influencing factors. *Sensors*. Molecular Diversity Preservation International (MDPI), 2010, **10**(3), 2088-2106. ISSN 1424-8220.
- [31] SILBERMAN, Nathan a Rob FERGUS. Indoor scene segmentation using a structured light sensor. In: *2011 IEEE international conference on computer vision workshops (ICCV workshops)*. IEEE, 2011, s. 601-608. ISBN 1467300632.
- [32] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 3., přeprac. vyd. Přeložil Iva MICHŇOVÁ, přeložil Zdeněk MICHŇA, přeložil Jiří HANDLÍŘ. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-17-7.
- [33] MCBEATH, Simon. *Competition car data logging: a practical handbook*. 2nd ed. Newbury Park: Haynes Publishing, 2008. ISBN 978-1-84425-565-8.



- [34] SEGERS, Jörge. *Analysis Techniques for Racecar Data Acquisition: Second Edition R-408*. 2. 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15509-0001 USA: SAE International, 2014, 537 s. ISBN 978-0-7680-6459-9. Dostupné z: doi:10.4271/R-408
- [35] MACEK, Jan. *Spalovací motory*. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 9788001050156.
- [36] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [37] SANTOS, Rodrigo. *Speed-Sensor-3-veracitydata.com\_.jpg (1024×680)* [online]. 2014 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: [http://racingcardynamics.com/wp-content/uploads/2014/10/Speed-Sensor-3-veracitydata.com\\_.jpg](http://racingcardynamics.com/wp-content/uploads/2014/10/Speed-Sensor-3-veracitydata.com_.jpg)
- [38] *Pitot-tube-stopandgo.clubf1\_.es\_.jpg (318×478)* [online]. 2014 [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: [http://racingcardynamics.com/wp-content/uploads/2014/10/Pitot-tube-stopandgo.clubf1\\_.es\\_.jpg](http://racingcardynamics.com/wp-content/uploads/2014/10/Pitot-tube-stopandgo.clubf1_.es_.jpg)
- [39] LAWES, Jon. *Competition car electrics: a practical handbook*. Sparkford: Haynes, 2006. ISBN 9781844253029.
- [40] STANIFORTH, Allan. *Competition Car Suspension: A Practical Handbook, Fourth Edition (4th Edition)*. 4. Sparkford, Yeovil, Somerset BA22 7JJ, UK: Haynes Publishing, 2006, 240 s. ISBN 1844253287.
- [41] *Linear-Potentiometer.jpg (800×600)* [online]. 2014 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <http://racingcardynamics.com/wp-content/uploads/2014/10/Linear-Potentiometer.jpg>
- [42] GSCHEIDLE, Rolf. *Tabulky pro automechaniky: tabulky, vztahy, přehledy, normalizované postupy : matematika, vedení podniku, základní odborné znalosti, materiály, technické kreslení, odborné znalosti, elektrické vybavení, předpisy*. Přeložil Jiří HANDLÍŘ. Praha: Europa-Sobotáles, 2009. ISBN 978-80-86706-21-4.
- [43] MILLIKEN, William F. a Douglas L. MILLIKEN. *Race car vehicle dynamics*. 2. vydání. Warrendale, PA, U.S.A.: SAE International, 1995. ISBN 9781560915263.

- [44] *Accelerometer.jpg (1000×888)* [online]. 2022 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: [http://www.bosch-motorsport.de/content/downloads/Raceparts/Images/jpg/68914699\\_\\_en\\_\\_Print.jpg](http://www.bosch-motorsport.de/content/downloads/Raceparts/Images/jpg/68914699__en__Print.jpg)
- [45] *IRN2-V - Texense - Embedded Sensors* [online]. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.texense.com/en/irn2-v-1-31.html>
- [46] *INFTS 150°C IR tyre temp sensor - Texense - Embedded Sensors* [online]. [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.texense.com/en/infts-150degc-ir-tyre-temp-sensor-73.html>
- [47] *Lap timing system (555×231)* [online]. [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: [https://www.motec.com.au/image\\_display.php?path=1669835712\\_lap+timing.png](https://www.motec.com.au/image_display.php?path=1669835712_lap+timing.png)
- [48] Display DDU 11. In: *Bosch – motorsport.com* [online]. Robert-Bosch-Allee 1 74232 Abstatt, Německo: Motorsport, 2023 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <http://www.bosch-motorsport.de/content/downloads/Raceparts/en-GB/262135691.html#/Tabs=9007199517030283/>
- [49] *DDU\_11 (1226×772)* [online]. [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: [http://www.bosch-motorsport.de/content/downloads/Raceparts/Images/png/336956299\\_\\_Web.png](http://www.bosch-motorsport.de/content/downloads/Raceparts/Images/png/336956299__Web.png)
- [50] Wintax 4 PRO: Data acquisition and analysis Telemetry Level. In: *Magnetimarelli.com: Motorsport* [online]. Viale Aldo Borletti, 61/63 20011 Corbetta (Milano), Itálie: Magneti Marelli S.p.A., 2016 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: [https://www.magnetimarelli.com/sites/default/files/2\\_SF\\_Wintax\\_PRO\\_rev8.0\\_0.pdf](https://www.magnetimarelli.com/sites/default/files/2_SF_Wintax_PRO_rev8.0_0.pdf)
- [51] Analysis Tool WinDarab V7. In: *Bosch – motorsport.com* [online]. Robert-Bosch-Allee 1 74232 Abstatt, Německo: Motorsport, 2022 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/en-GB/55459595213067275.html#/Tabs=55539979/>

- [52] *Windarab.jpg (1004×606)* [online]. Robert-Bosch-Allee 1 74232 Abstatt, Německo: Bosch Motorsport, 2022 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: [https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/Images/jpg/70949771\\_\\_Web.jpg](https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/Images/jpg/70949771__Web.jpg)
- [53] VBOX Video HDMI: RLVBVDHD2-H. In: *Vboxmotorsport.co.uk* [online]. Unit 10-11 Swan Business Centre, Osier Way Buckingham, Velká Británie: Racelogic Ltd., 2021 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: [https://www.racelogic.co.uk/\\_downloads/vbox/Datasheets/Data\\_Loggers/VBOX\\_HD2\\_HDMI\\_Data.pdf](https://www.racelogic.co.uk/_downloads/vbox/Datasheets/Data_Loggers/VBOX_HD2_HDMI_Data.pdf)
- [54] *VBOX\_HDMI (800×420)* [online]. Unit 10-11 Swan Business Centre, Osier Way Buckingham, Velká Británie: Racelogic Ltd., 2021 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.vboxmotorsport.co.uk/templates/yootheme/cache/91/hd2-800-8bit-91247e4b.webp>
- [55] MoTeC Brochure: T2 Category Management. In: *Motec.com* [online]. Unit 14 Twyford Mill Industrial Estate, Adderbury, Oxon, OX17 3HJ, Velká Británie: MoTeC Europe Ltd., 2023 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.motec.com.au/t2telemetry/download/>
- [56] *T2\_telemetry\_scheme (267×189)* [online]. Unit 14 Twyford Mill Industrial Estate, Adderbury, Oxon, OX17 3HJ , Velká Británie: MoTeC Europe Ltd., 2016 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: [https://lh3.googleusercontent.com/mPg11vPinJk\\_rVYpjrKJxOl7Iq\\_Av2yxSBQeuOzmxwafsiwT-DfCpjincGAc8YUSYTnft21Sj6YsWv6z8M6kivlZYR29-VvcZ8CrMybV](https://lh3.googleusercontent.com/mPg11vPinJk_rVYpjrKJxOl7Iq_Av2yxSBQeuOzmxwafsiwT-DfCpjincGAc8YUSYTnft21Sj6YsWv6z8M6kivlZYR29-VvcZ8CrMybV)
- [57] *Ferrari F142MCHP: Technical manual* [Flash disk]. Maranello: Ferrari Academy, 2017.
- [58] *Ferrari 488 GT3: Technical manual* [Flash disk]. Padova: Michelotto Automobili, 2017.

- [59] PANDIT, Abhimanyu. CIRCUIT DIGEST. Serial Communication Protocols. In: *Circuitdigest.com* [online]. India, 2019 [cit. 2023-02-12]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/sites/default/files/inlineimages/u/Serial-communication.png>
- [60] HERENCSÁR, Norbert, Jaroslav KOTON, Kamil VRBA a Ivo LATTENBERG. New voltage-mode universal filter and sinusoidal oscillator using only single DBTA. *International Journal of Electronics* [online]. 2010, **97**(4), 365-379 [cit. 2023-02-02]. ISSN 0020-7217. Dostupné z: doi:10.1080/00207210903325229
- [61] Analog Signals vs. Digital Signals. In: *Monolithicpower.com* [online]. 5808 Lake Washington Blvd. NE Kirkland, WA 98033, USA: MPS Kirkland, 2021 [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: [https://media.monolithicpower.com/wysiwyg/2\\_28.png](https://media.monolithicpower.com/wysiwyg/2_28.png)
- [62] TAN, Lizhe a Jean JIANG. Signal Sampling and Quantization. In: *Digital Signal Processing* [online]. Elsevier, 2019, s. 13-58 [cit. 2023-02-13]. ISBN 9780128150719. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-815071-9.00002-6

## 7 Přílohy



*Příloha 1 Ferrari 488 Challenge Evo [archiv autora]*

Datum	
Circuit	
Event	

Setup No.	
Driver	
Start. No.	
Chassis no.	

		Toe	
max 4,4°		camber	
		packer	
		spring	
		damper	
		ARB	
		rideheight(dam.)	
min 103 mm		rideheight(sils)	
min 50 mm		rideheight(frame)	
		splitter height	
		Air gap	

1 FLAT =	$\Delta$ 0,43 mm
1 mm = $\Delta$ 0,15°	+ $\Delta$ 0,725mm toe

1 TURN =	$\Delta$ 2,94 mm
----------	------------------

tyre press	setup
1,5	1,5
1,5	1,5

		Toe	
max 3,3°		camber	
		packer	
		spring	
		damper	
		ARB	
		rideheight(dam.)	
min 98 mm		rideheight(dif)	
min 141 mm		rideheight(frame)	
		Air gap	
		rear wing	

1 FLAT =	$\Delta$ 0,654 mm
1 mm = $\Delta$ 0,165°	+ $\Delta$ 0,635mm toe

1 TURN =	$\Delta$ 2,7 mm
----------	-----------------

Min wgt+driver	1495 Kg
wgt(+pilot)	

front spring		
342080	260	$\phi$ 14
782584	240	$\phi$ 13,75

rear spring		
342081	220	$\phi$ 14,75
782303	200	$\phi$ 14,5

front dampers		
333567	std	+bump/ - reb
761878	opt/EVO	-bump/ + reb

rear dampers		
333581	std	+bump/ - reb
761880	opt/ EVO	-bump/ + reb

Příloha 2 Setup formulář Ferrari 488 Challenge [archiv autora]



Priloha 3 Ukazka dat Ferrari 488 Challenge [archiv autora]



Priloha 4 Ukazka systemu Circuit Tools [archiv autora]



*Příloha 5 Ferrari 488 GT3 [archiv autora]*



Datum	
Circuit	
Event	

Engine	
fuel	

Gearbox		
bevel	23	21
final	15	50
1	13	35
2	16	33
3	16	31
4	19	27
5	19	23
6	19	20
Diff		
accel/brake	60	30
faces	12	
preload		

Brake		
Ø master cyl.	19,1	20,6
Ø Caliper pist.	28-30-38	28-36
Ø Disc	390	332
Disc thickness	35	32
Pads type	endless	pag RS19
Pads thickness	29	25
Brake ballanc	50	40

---

	splitter	
	Toe	
	camber	
	packer	
	spring	
∕%	R damper B	∕%
	ARB	
	rideheight(dam.)	
	rideheight(flor.)	
min 73	rideheight(case)	
	Air gap	

	rear wing	
	Toe	
	camber	
	packer	
	spring	
∕%	R damper B	∕%
	ARB	
	rideheight(dam.)	
	rideheight(flor.)	
min98	rideheight(case)	
	Air gap	

Suspension Ratio	
Front	1,26
Rear	1,19

Ride Height Modification			
	damper	Height	Camber
Front	1 turn	Δ 2,30 mm	Δ 0,09°
Rear	1 turn	Δ 2,20 mm	Δ 0,11°

<b>Toe</b>	Modification	Toe (mm/side)
Front	1 turn	Δ 5,769
	1 flat face	Δ 0,961
Rear	1 mm shim	Δ 0,5

<b>Camber</b>	Modification	Camber	Toe (mm/sid)	Toe rod	Height
Front	1 mm shim	Δ 0,166°	Δ 1,92	Δ 1,96 faces	Δ 0,14
Rear	1 mm shim	Δ 0,166°	Δ 0,933	Δ 0,466 shim	Δ 0,60

Setup No.	
Driver	
Start. No.	
Chassis no.	

front wheel	rear wheel
tyre comp	
tyre dimension	
rims dimension	

tyre press cold	

weight	

ballast	
---------	--

wgt(+pilot)	



Príloha 7 Ukážka telemetrického systému MoTeC T2 [archiv autora]