

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta elektrotechnická
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bezdrátové měření tlaku v pneumatikách

Autor práce: Bc. Martin Kalčík

Vedoucí práce: Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.

Plzeň 2015

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím odborné literatury a pramenů, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Plzni dne 11. května 2015

.....
vlastnoruční podpis

Abstrakt

Hlavním cílem diplomové práce je navržení a realizování funkčního vzorku pro bezdrátové měření tlaku v pneumatikách. V první části práce je obecně probrána problematika bezdrátového přenosu dat. Jsou zde popsány různé druhy modulací, frekvenčních pásem pro přenos dat a také jsou zmíněny technologie Wi-Fi a Bluetooth, jako běžní zástupci bezdrátového přenosu. Druhá část práce popisuje možnosti a způsoby TPMS systémů, které slouží právě pro bezdrátové měření tlaku v pneumatikách. Ve třetí části diplomové práce je popsán vlastní návrh a realizace funkčního vzorku, který zahrnuje vysílací část, včetně MEMS senzoru a přijímací část sloužící ke zobrazení požadovaných informací. V poslední části diplomové práce je zmíněn způsob, jakým byl funkční vzorek programován.

Klíčová slova

TPMS, bezdrátové měření tlaku, RF přenos, přenos dat, modulace signálu, MCU, Wi-Fi, Bluetooth, SPI

Abstract

The main objective of this diploma thesis is the design and realization of a functional sample for wireless measurement of tire pressure. The first part describes the general issues of wireless data transfer. There are described different types of modulation, frequency bands for data transfer and also mentions the technology Wi-Fi and Bluetooth as ordinary representatives of the wireless. The second part describes the possibilities and ways of TPMS systems which are used for wireless measurement of tire pressure. In the third part of the diploma thesis is a description of the desing and realization of functional sample which includes transmitting part, including MEMS sensor and a receiving part for displaying the requested information. In the last part of the thesis is mentioned how was functional sample programming.

Key words

TPMS, wireless measurement of pressure, RF transfer, data transfer, signal modulation, MCU, Wi-Fi, Bluetooth, SPI

Obsah

Úvod	1
1 Bezdrátový přenos dat	2
1.1 Přenosový řetězec	2
1.2 Druhy modulací	4
1.2.1 Modulování analogového signálu	4
1.2.2 Modulování digitálního signálu	6
1.3 Frekvenční pásma pro přenos dat	8
1.3.1 Licencovaná pásma	8
1.3.2 Bezlicenční pásma	8
1.4 Wi-Fi	9
1.5 Bluetooth	11
2 Princip TPMS systémů	13
2.1 Nepřímé měření tlaku v pneumatikách	13
2.2 Přímé měření tlaku v pneumatikách	15
2.2.1 Systémy zobrazující informace na palubním počítači	16
2.2.2 Systémy zobrazující informace na externím displeji	17
3 Vlastní návrh TPMS	18
3.1 Návrh TPMS uvnitř kola	18
3.1.1 Blokové schéma	18
3.1.2 DPS	18
3.1.3 MPXx8xxxD	19
3.1.4 Alternativa za MPxx8xxxD	21
3.1.5 Návrh pouzdra pro senzor v SolidWorks	22
3.2 Návrh TPMS uvnitř vozu	23
3.2.1 Blokové schéma	23
3.2.2 Procesor MC9S08DZ96CLF	25
3.2.3 RF přijímač SI 4313	26
3.2.4 Displej EA-DOGL128-6	28
3.3 Program	30
3.3.1 Vývojový diagram	30
3.3.2 Program přijímače	31
3.3.3 Program vysílače	32
Závěr	34
Použitá literatura	35

Seznam symbolů a zkratek

ABS	.....	Anti-lock Braking System, protiblokovací systém
ADC	.....	Analog to Digital Converter, analogově-digitální převodník
AM	.....	Amplitude Modulation, amplitudová modulace
APSK	...	Amplitude and Phase-Shift Keying, klíčování amplitudovým a fázovým zdvihem
ASK	.....	Amplitude Shift Keying, klíčování amplitudovým zdvihem
CAN	.....	Controller Area Network, oblast řídicí sítě
CCK	.....	Complementary Code Keying, doplňkově kódové klíčování
DFS	.....	Dynamic Frequency Selection, dynamická volba frekvence
DSSS	....	Direct Sequence Spread Spectrum, technika přímého rozprostřeného spektra
ECA	.....	European Common Allocation, společné evropské rozdělení
ESP	.....	Electronic Stability Program, elektronický stabilizační program
FHSS	....	Frequency Hopping Spread Spectrum, metoda kmitočtových skoků rozprostřeného spektra
FM	.....	Frequency Modulation, frekvenční modulace
FSK	.....	Frequency Shift Keying, klíčování frekvenčním zdvihem
GFSK	...	Gaussian Frequency-Shift Keying, modulace s frekvenčním klíčováním
ISM	.....	Industrial, Scientific and Medical, průmysl, věda a lékařství
LED	.....	Light Emitting Diode, dioda emitující světlo
LIN	.....	Local Interconnect Network, místní propojovací síť
MCU	....	Microcontroller Unit, mikrokontrolérová jednotka
MEMS	...	Microelectromechanical sensor, mikro-elektro-mechanické senzory
OFDM	...	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, ortogonální frekvenční multiplex
OOK	....	On-Off Keying, klíčování vypnutím a zapnutím
PM	.....	Phase Modulation, fázová modulace
PSK	.....	Phase Shift Keying - klíčování fázovým zdvihem
QAM	....	Quadrature Amplitude Modulation, kvadraturní amplitudová modulace
RFID	....	Radio Frequency Identification, radio frekvenční identifikace
SPI	.....	Serial Peripheral Interface, sériové periferní rozhraní
SRD	.....	Přístroje s krátkým dosahem
TPC	.....	Transmit Power Control, regulace vysílacího výkonu
TPMS	...	Tire Pressure Monitoring Systems, systém pro monitorování tlaku v pneumatikách
WECA	...	Wireless Ethernet Compatibility Alliance

Seznam obrázků

1.1	Přenosový řetězec	3
1.2	Schématická značka modulátoru	3
1.3	Princip amplitudové modulace	4
1.4	Princip frekvenční modulace	5
1.5	Princip fázové modulace	6
1.6	Diskrétní dvoustavové modulace s nosnými vlnami[1]	7
1.7	Certifikované logo Wi-Fi[8]	9
1.8	Oficiální logo Bluetooth[9]	11
2.1	Výstražné kontrolní světlo indikující únik vzduchu z pneumatiky[16]	14
2.2	TPMS senzory[18]	15
2.3	Jeden ze způsobů uchycení senzoru[19]	16
2.4	Zobrazení o stavu tlaku v pneumatikách na palubním počítači[16]	17
2.5	Přídavný TPMS systém[21]	17
3.1	Blokové schéma TPMS uvnitř kola	18
3.2	Hvězdicový rozvod napájení MPxx8xxxD[31]	19
3.3	Blokové schéma RF vysílače[31]	20
3.4	Příklady formátů datových rámců[31]	21
3.5	Pouzdro pro senzory řady FXTH87xxx[29]	22
3.6	Ventilek pro TPMS systémy[28]	22
3.7	Zjednodušené blokové schéma druhé části TPMS systému	23
3.8	Schéma zapojení DC/DC měniče	24
3.9	Blokové schéma spojení dvou stanic přes SPI[25]	26
3.10	Pouzdro RF přijímače SI 4313[26]	27
3.11	Schéma zapojení RF přijímače	28
3.12	Ukázka displejů EA-DOGL128-6[27]	29
3.13	Schéma zapojení displeje EA-DOGL128-6	29
3.14	Zjednodušené schéma vývojového diagramu	30
3.15	Funkce pro inicializaci displeje	31

Seznam tabulek

1.1	Frekvenční pásma pro rozhlasové a televizní vysílání	8
1.2	ISM pásma dle ECA	9
1.3	Jmenovitá vs. reálná rychlost[7]	10
1.4	Třídy zařízení technologie Bluetooth[9]	11
3.1	Výběr modulace[26]	28
3.2	Některé rutiny dostupné v MPXY8600[31]	32

Úvod

Systémy umožňující monitorovat tlak v pneumatikách automobilu jsou od listopadu roku 2014 povinnou výbavou všech nově vyrobených automobilů v zemích Evropské unie a je jen otázkou času, kdy budou tyto systémy povinné pro všechny automobily bez ohledu na jejich stáří. Cílem této práce je proto návrh a realizace funkčního vzorku pro bezdrátové měření tlaku v pneumatikách, kterým je možno vybavit jakýkoli automobil.

V první části diplomové práce jsou probrány některé druhy modulací, jak analogové, tak digitální. Je zde také uvedena problematika licenčních a bezlicenčních frekvenčních pásem pro přenos signálu. V závěru první části práce jsou popsány technologie Wi-Fi a Bluetooth. Tyto technologie jsou hojně používány pro bezdrátový přenos dat, a proto jsou v této práci zmíněny.

Druhá část práce popisuje TPMS systémy, které slouží k monitorování tlaku v pneumatikách. Tato část poukazuje na dva typy systémů. Prvním typem jsou TPMS systémy pro nepřímé monitorování tlaku v pneumatikách, které zjišťují úbytek tlaku pomocí údajů z čidel ABS a ESP. TPMS systémy tyto údaje vyhodnocují a výsledkem je informace o rychlosti otáčení kola, která se mění v závislosti na stavu tlaku v pneumatice. Pokud je kolo podhuštěné, točí se vyšší rychlostí a naopak. Úbytek tlaku v pneumatice systém signalizuje rozsvícením výstražného kontrolního světla. Druhým typem TPMS systémů jsou systémy, které skutečně měří aktuální hodnotu tlaku prostřednictvím senzoru. Tato informace je prakticky bez zpoždění zasílána prostřednictvím sběrnice CAN nebo LIN na palubní počítač a řidič vozidla má okamžitý přehled o hodnotě tlaku v každé pneumatice.

Poslední část práce se zabývá návrhem a realizací funkčního vzorku pro bezdrátové měření tlaku. Jsou zde k dispozici bloková schémata přijímací a vysílací části a popis hlavních bloků obou částí. Je zde popsán mikrokontrolér MC9S08DZ96CLF, displej EA-DOGL 128-6, RF přijímač SI 4313 a MEMS senzor MPXY8600DK6T1, které byly pro návrh použity. V neposlední řadě je v této části také popsáno, jakým způsobem byly obě části systému programovány. Jelikož jsou MEMS senzor a mikrokontrolér od firmy Freescale Semiconductor, byla práce programována v programovacím prostředí CodeWarrior. V práci je ukázána část kódu sloužící pro inicializaci displeje.

1 Bezdrátový přenos dat

Bezdrátovým přenosem je myšlen jakýkoli přenos, který není realizován pomocí metalického vedení nebo optického vlákna. Bezdrátový přenos je možno rozdělit do tří hlavních skupin podle typu přenosu:

- optický přenos,
- sonický přenos,
- radiový přenos.

Optický přenos je realizován prostřednictvím světla. Přenosovým médiem je vzduch. Zdroje světla mohou být různé, přičemž nejrozšířenějšími zdroji jsou laser a infračervené světlo. Jen pro doplnění, do optické komunikace spadá také řeč těla nebo dorozumívání se mezi hluchoněmými.

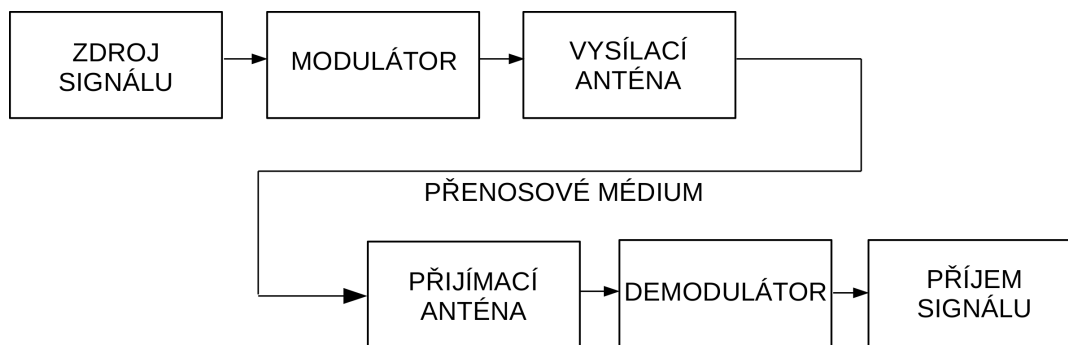
Sonickým přenosem je myšlena zvuková komunikace, která může být reprezentována běžnou lidskou komunikací, ovšem v elektrotechnice je samozřejmě sonickým přenosem rozuměn přenos pomocí ultrazvuku. Sonický přenos ke komunikaci využívají například ponorky.

Poslední ze skupiny bezdrátových přenosů je radiový přenos, který k přenosu využívá elektromagnetické vlny. Přesněji se k přenosu využívá elektromagnetické vlnění. To vzniká kolem vodiče, kterým protéká proud o vysoké frekvenci. Tento přenos umožňuje přenášet informace na velké vzdálenosti při vysoké přenosové rychlosti. Radiové spektrum se nachází ve frekvenčním pásmu od 9 kHz do 3000 GHz.

1.1 Přenosový řetězec

V této kapitole budou přiblíženy jednotlivé funkční bloky přenosového řetězce. Na obr.: 1.1 je příklad obecného blokového schématu přenosového řetězce, který je zaměřen zejména na radiový přenos. Obecně lze říci, že pro přenos signálu je potřeba zařízení, které signál vysílá a zařízení, které signál přijímá. To ovšem samo o sobě nestačí. Signál je nutné před přenosem modulovat (jinak by byl přenos signálu v podstatě nerealizovatelný) a při příjmu zpět demodulovat. Proto je důležitou součástí přenosového řetězce i modulátor a demodulátor. Tento poznatek platí pouze pro radiový přenos. Pro sonický a optický přenos je dostačující zdroj a přijímač signálu.

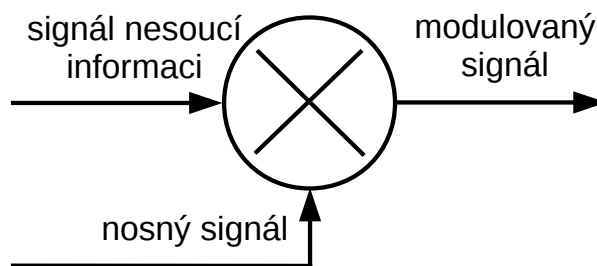
Prvním funkčním blokem výše zmíněného přenosového řetězce je zdroj signálu nebo-li zdroj informace. Ten se liší v závislosti na zvoleném typu přenosu. U optického přenosu může být zdrojem signálu laser, LED dioda nebo infračervené světlo. Zdrojem ultrazvukového chvění může být piezoelektrický nebo magnetostrikční ultrazvukový generátor. Zdrojem informace pro radiový přenos je například senzor, který měří fyzikální veličinu.



Obrázek 1.1: Přenosový řetězec

Ta je převedena na elektrickou veličinu v podobě napětí nebo proudu a poslána dále v přenosovém řetězci nebo je pomocí A/D převodníku převedena do digitální podoby a dále zpracovávána. Toto je pouze příklad určitého zdroje informace. V praxi je těchto zdrojů a způsobů zpracování informace nespočetné množství.

Modulátor je směřující prvek, který zajišťuje tzv. modulaci užitečného signálu se signálem nosným. Schématická značka modulátoru je na obr.: 1.2. Modulátor je nelineární



Obrázek 1.2: Schématická značka modulátoru

elektrický obvod, ve kterém dochází ke sloučení signálu nesoucího informaci s nosným signálem. Výsledkem je signál, který má vlastnosti podobné nosnému signálu a přitom tento signál nese informaci, kterou chceme přenést. Nelinearita modulátoru se zajišťuje například diodou nebo tranzistorem.[1]

Vysílací a přijímací antény je možno zařadit do společné skupiny, jelikož každá anténa může být v principu vysílací i přijímací. Přijímací anténa přeměňuje energii elektromagnetických vln na energii elektrickou. Oproti tomu, vysílací anténa přeměňuje elektrickou energii na energii elektromagnetických vln. Vysílacích i přijímacích antén je celá řada, proto je v této kapitole pouze výčet základních typů antén. Do tohoto výčtu se dají zařadit následující typy antén:

- rámová anténa,
- drátová anténa,
- parabolická anténa,
- smyčková anténa,
- vertikální anténa,
- feritová anténa.[2]

Po příjmu signálu druhou stranou je nutné rozdělit modulovaný signál na nosný signál a na signál nesoucí informaci. Tento úkon provádí demodulátor. Zjednodušeně lze říci, že demodulátor je opakem modulátoru. Demodulátor je opět nelineární elektrický obvod, který pomocí nelineárního prvku (např.: diody nebo tranzistoru) odděluje signál nesoucí informaci a nosný signál. Užitečný signál, který nese informaci je pak dále zpracováván.[1]

Příjem signálu je opět odlišný dle typu přenosu. Fotodioda, fototranzistor či fotorezistor jsou typickými zástupci přijímacího prvku pro optický přenos. Přijímač, nebo-li „receiver“, zajišťuje příjem signálu pro sonický a radiový přenos. Tyto receivery přijímají signál, který je dále zpracováván, typicky prostřednictvím mikrokontroléru.

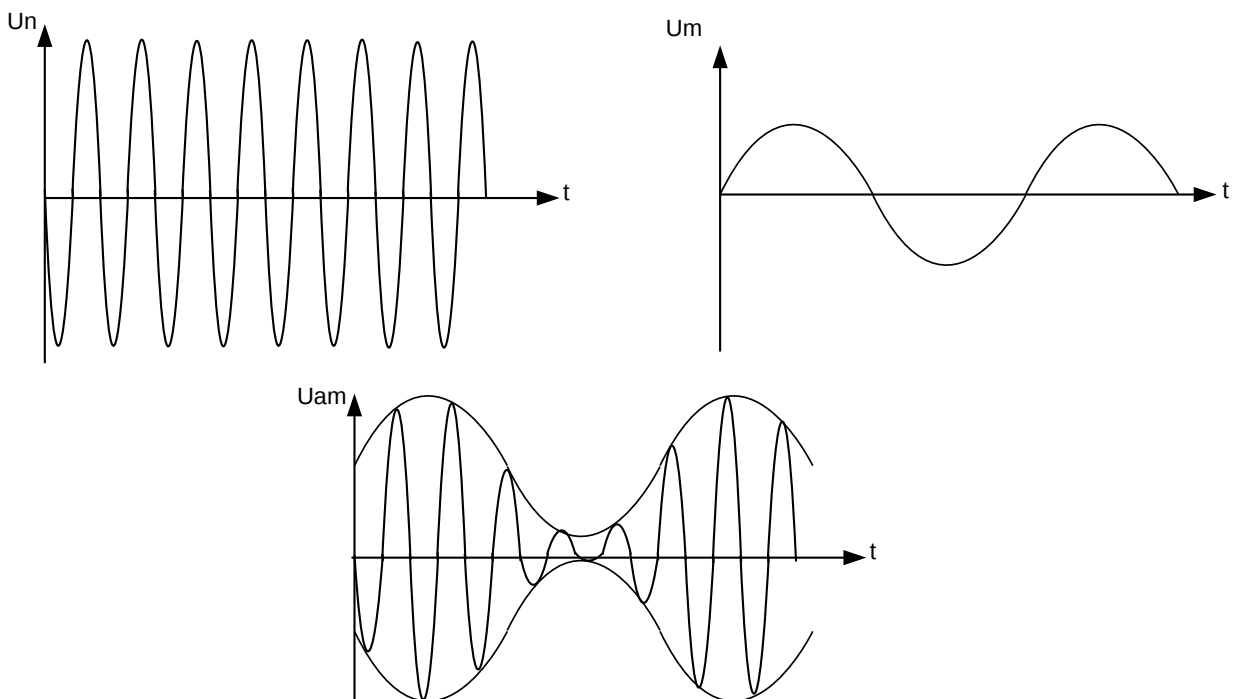
1.2 Druhy modulací

Druhů modulací je několik. Dají se dělit na spojité a impulzní. Impulzní modulace se dají dále dělit na kvantované a nekvantované. Další rozdíl mezi modulacemi je, zda jsou určené pro modulování analogového či digitálního signálu. V následujících podkapitolách budou popsány vybrané modulace pro analogové i digitální signály.[3]

1.2.1 Modulování analogového signálu

Nejstarší modulací pro analogové signály je modulace amplitudová AM. Později se začali využívat také fázové modulace PM a frekvenční modulace FM. Amplitudová modulace nemá v současné době velké využití. Používá se u jednodušších systémů, jako jsou například občanské radiostanice. Toto se ovšem nedá říci o frekvenční modulaci, která má stále uplatnění i v náročnějších aplikacích, jako je například stereofonní FM rozhlas.[1]

Amplitudová modulace má několik typů. Základním typem je modulace s nepotlačenou nosnou vlnou a oběma postranními pásmy. Dalšími typy jsou například modulace



Obrázek 1.3: Princip amplitudové modulace

s potlačenou nosnou vlnou a oběma postranními pásmy nebo modulace s potlačenou nosnou vlnou a jedním postranním pásmem. Princip amplitudové modulace je na obr.: 1.3. Amplitudová modulace mění vlivem užitečného signálu konstantní amplitudu nosné vlny u_n . „Působí-li na nemodulovanou nosnou vlnu u_n o amplitudě U_N harmonický signál u_m o kmitočtu ω a amplitudě U_M , je okamžitá amplituda modulované nosné vlny dána vztahem“ [3]

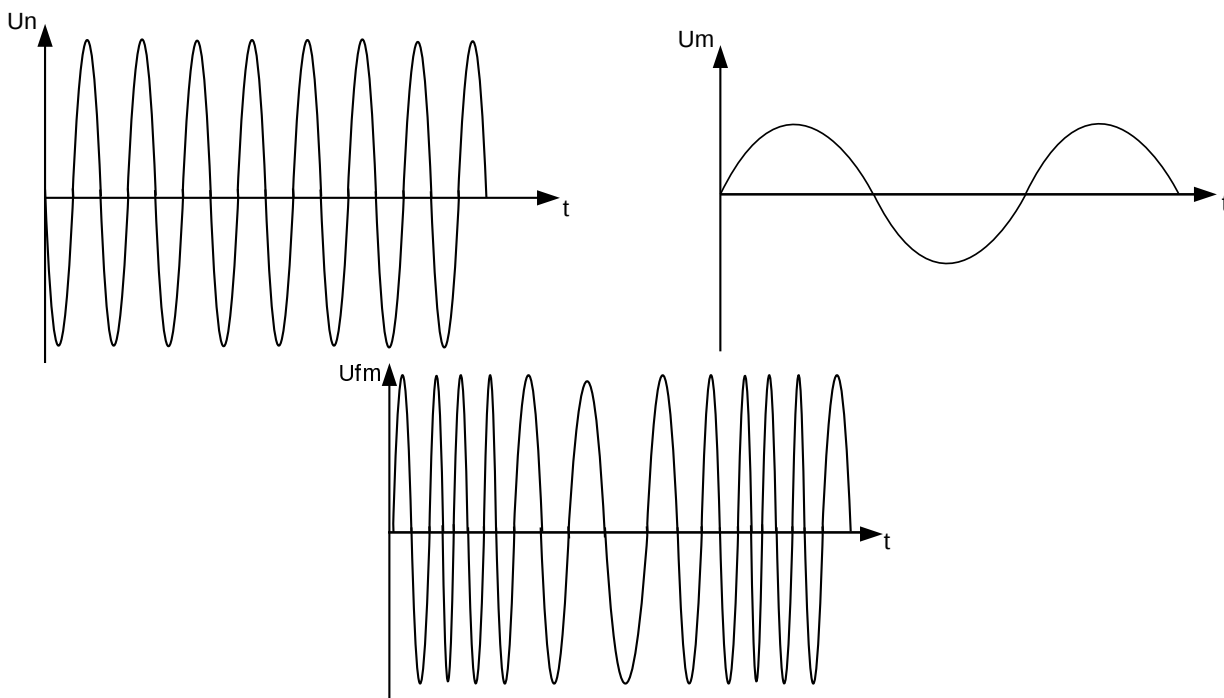
$$U_N + u_m = U_N + U_M * \sin(\omega * t) \quad (1.1)$$

Důležitým parametrem amplitudové modulace je tzv. hloubka modulace, která se dá vyjádřit pomocí vztahu

$$m = \frac{U_M}{U_N} \quad (1.2)$$

Hloubka modulace nabývá hodnot mezi 0 a 1 a běžně je udávána v %.

Dalším typem modulace je frekvenční modulace. Její princip znázorňuje obr.: 1.4. Zde není deformována amplituda nosného signálu vlivem užitečného signálu, ale dochází zde ke změně kmitočtu nosného signálu v závislosti na užitečném signálu. Přesněji, působí



Obrázek 1.4: Princip frekvenční modulace

užitečný signál u_m na kruhovou frekvenci Ω nosného signálu u_n . Průběh nosného signálu má podobu

$$u_n = U_N * \sin(\Omega * t + \varphi) \quad (1.3)$$

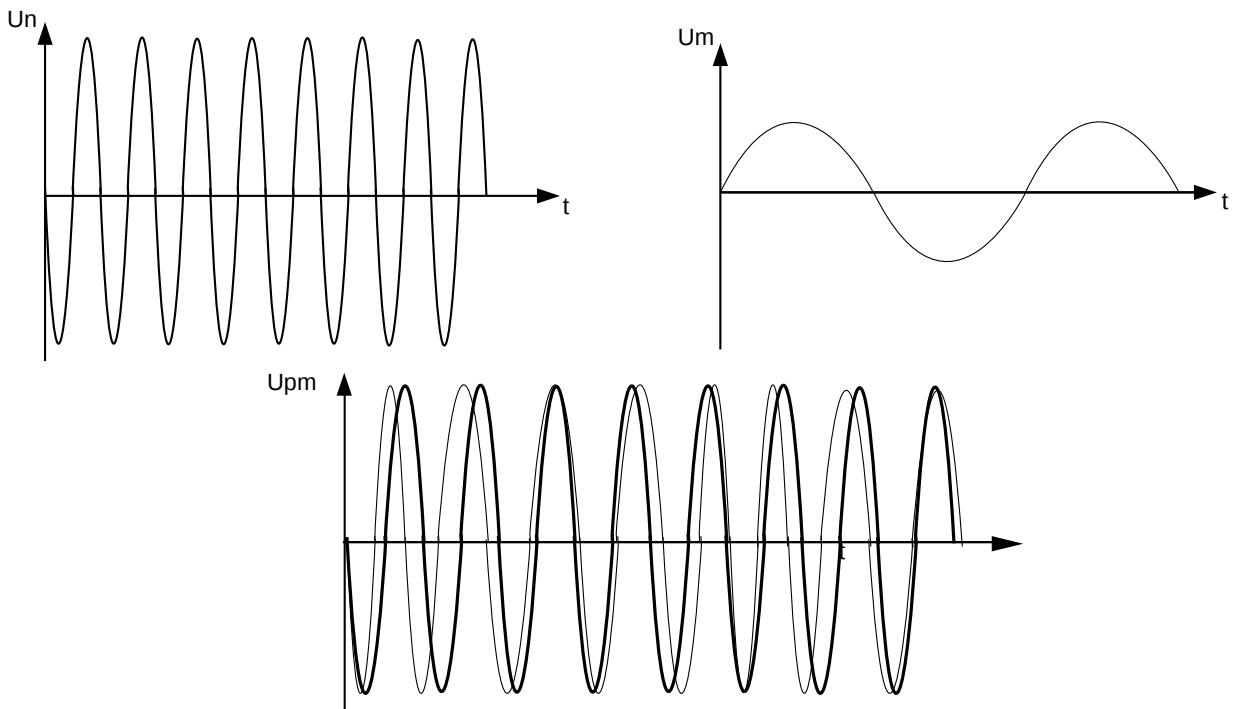
Index frekvenční modulace, který je dán vztahem

$$m_F = \frac{\Delta\Omega}{\Omega}, \quad (1.4)$$

je poměrem největší změny nosné frekvence $\Delta\Omega$, která se nazývá frekvenční zdvih, a frekvencí signálu Ω .

Posledním typem modulace, který bude v této práci zmíněn, je modulace fázová. U fázové modulace se nemění amplituda U_N nosného signálu u_n , ani kruhová frekvence Ω , ale

mění se fáze nosného signálu φ při současné změně amplitudy U_M užitečného signálu u_m . Princip této modulace je opět znázorněn graficky, konkrétně na obr.: 1.5. Opět je možné



Obrázek 1.5: Princip fázové modulace

vyjádřit napětí fázově modulované vlny pomocí vztahu

$$u = U_N * \sin(\Omega * t + m_p * \sin(\omega * t)) \quad (1.5)$$

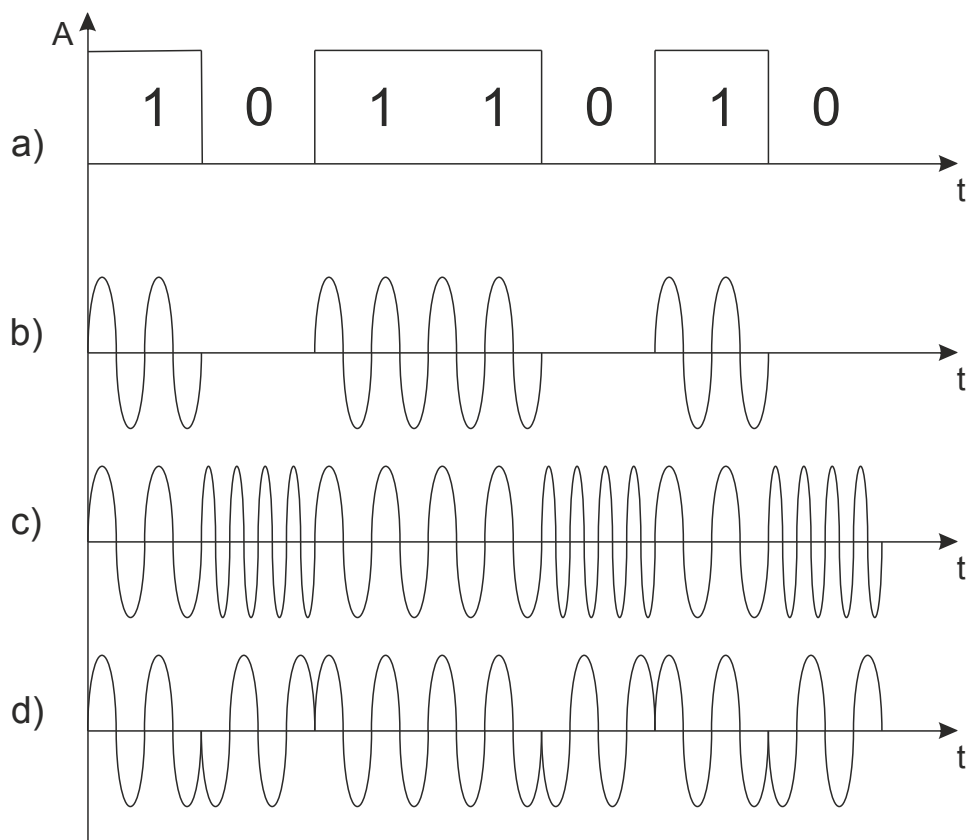
Dalšími typy modulací jsou modulace, spadající do skupiny impulzních modulací. Jedná se například o amplitudovou impulzní modulaci, polohovou impulzní modulaci, pulzně šířkovou modulaci, pulzně kódovou modulaci nebo delta modulaci.[1] [3]

1.2.2 Modulování digitálního signálu

U modulací digitálního signálu, respektive u digitálních modulací, se k přenosu informace využívá signál, který je nespojitý v amplitudě, v kmitočtu, ve fázi, v čase nebo současně v několika výše uvedených parametrech.

Modulace diskrétního signálu mají základní dělení na dvě velké skupiny. Modulace v základním pásmu, které jsou historicky starší a hodí se k přenosu metalickým a optickým vedením. Tyto modulace jsou také někdy označovány jako kódování, jelikož pravým smyslem modulace je transformování signálu ze základního pásma do vysokofrekvenčního pásma. Druhým typem jsou modulace s nosnými vlnami, které slouží k radiovému přenosu. Signál nesoucí informaci je v tomto případě nutné namodulovat na nosnou vysokofrekvenční nebo mikrovlnou vlnu. Digitální modulace mají několik významných výhod a vlastností, a proto začínají pomalu vytlačovat modulace analogové.

Jak je zmíněno výše, pro radiový přenos se používají modulace s nosnými vlnami, a tudíž bude zbytek této podkapitoly věnován popisu několika základních typů modulací s nosnými vlnami. Na obr.: 1.6 jsou znázorněny základní typy diskrétních dvoustavových modulací. Modulace prostřednictvím dvou diskrétních stavů se také označuje jako



Obrázek 1.6: Diskrétní dvoustavové modulace s nosnými vlnami[1]

klíčování. Prvním typem diskrétní modulace, zobrazeným na obr.: 1.6b), je diskrétní amplitudová modulace ASK. Ta se vyznačuje tím, že logické 0 signálu nesoucího informaci přísluší minimální nebo nulová amplituda nosné vlny. Naopak logické 1 přísluší maximální amplituda nosné vlny. Pokud logické 0 přísluší nulová amplituda nosné vlny, jedná se o modulaci ASK, která se také může nazývat OOK, tedy On-Off Keying (klíčování vypnutím a zapnutím). Na obr.: 1.6c) je znázorněn princip diskrétní frekvenční modulace FSK. U této modulace je přiřazen logické 1 signálu nesoucího informaci určitý kmitočet nosné vlny f_1 . Obdobným způsobem je přiřazen kmitočet nosné vlny f_2 logické 0 signálu nesoucího informaci. U diskrétní fázové modulace, vyobrazené na obr.: 1.6d), je logické 1 signálu nesoucího informaci přiřazen určitý stav fáze nosné vlny, např.: 0° . Logické 0 signálu nesoucího informaci je následně přiřazen stav fáze nosné vlny 180° .

Kromě výše zmíněných dvoustavových diskrétních modulací existují ještě vícestavové diskrétní modulace, někdy také označované jako M-stavové. V tomto případě může nosná vlna nabývat některého z M stavů, kde $M = 2^n$. Přičemž ($n = 2, 3, 4, \dots$), tudíž může nosná vlna nabývat stavů ($M = 4, 8, 16, \dots$). Tímto způsobem lze získat čtyřstavovou frekvenční modulaci označovanou 4FSK, osmistavovou frekvenční modulaci 8FSK, atd. Stejným způsobem jako u dvoustavové diskrétní frekvenční modulace je každému stavu nosné vlny přiřazen určitý kmitočet. Dibitu 00 přísluší kmitočet f_1 (Dibit je 2 bitové slovo, které odpovídá jednomu z M stavů nosné vlny. Obecně lze říci, že každé n bitové slovo, kódová skupina, náleží jednomu z M stavů nosné vlny).

Do vícestavových diskrétních modulací spadá také modulace APSK, kde je současně měněna amplituda a fáze nosné vlny. Za zmínku stojí také kvadrurní modulace QAM, které se docílí pomocí dvou nosných vln o stejném kmitočtu, rozdílných amplitudách

a konstantních fází, vzájemně posunutých o 90° . [1] [3]

1.3 Frekvenční pásma pro přenos dat

Jak je zmíněno výše, bezdrátový přenos dat je realizován prostřednictvím elektromagnetických vln elektromagnetického spektra. Toto spektrum je možno rozdělit na:

- radiové vlny (Hz - 1 GHz),
- mikrovlny (1 GHz - 300 GHz),
- infračervené záření (300 GHz - 400 THz),
- viditelné záření (400 THz - 800 THz).

V tomto elektromagnetickém spektru se nacházejí pásma, která jsou licencovaná a jejichž využívání je zpoplatněno. Přidělování licencí má na starosti Český telekomunikační úřad. Dále se zde nacházejí pásma pro volné použití, tzv. bezlicenční pásma. Tato pásma jsou bezplatná a může v nich vysílat neomezený počet uživatelů. Je zde však problém s rušením. [4]

1.3.1 Licencovaná pásma

Licencovaná pásma jsou zpoplatněná, ale s garantovanou ochranou proti rušení. Do licencovaných frekvenčních pásem patří rozhlasové a televizní vysílání. Frekvenční pásma rozhlasového a televizního vysílání jsou rozepsána v tabulce 1.1. Dále sem spadají napří-

Tabulka 1.1: Frekvenční pásma pro rozhlasové a televizní vysílání

vysílání	pásmo	aplikace
rozhlasové	148,5 – 283,5 kHz	rozhlas AM
rozhlasové	526,5 – 1606,5 kHz	rozhlas AM
rozhlasové	5900 – 5950 kHz	rozhlas AM
rozhlasové	87,5 – 108 MHz	rozhlas FM
rozhlasové	174 – 230 MHz	T-DAB
rozhlasové	1452 – 1492 MHz	T-DAB
televizní	174 – 223 MHz	DVB-T
televizní	470 – 790 MHz	DVB-T

klad datové sítě v pásmech 3,5 GHz, 26 GHz a 28 GHz, mobilní sítě GSM v pásmech 900 MHz a 1800 MHz nebo radiové sítě TETRA v pásmu 415 - 430 MHz. [4] [5]

1.3.2 Bezlicenční pásma

Bezlicenční pásma jsou bezplatná pásma pro neomezený počet uživatelů. Je zde však problém se vzájemným rušením. Spadá sem zejména pásmo ISM (Industrial, Scientific and Medical), které má prostřednictvím ECA dána frekvenční pásma uvedené v tabulce 1.2. [4] [5]

Tabulka 1.2: ISM pásma dle ECA

pásmo	aplikace
9 - 14 kHz	SRD s indukční smyčkou, lékařské implantáty (SRD)
6765 - 7000 kHz	SRD s indukční smyčkou, SRD pro telematiku
13410 - 13570 kHz	SRD s indukční smyčkou, RFID, ovládání modelů
26175 - 27500 kHz	SRD s indukční smyčkou, občanské radiostanice
40,66 - 40,7 MHz	radary (SRD)
433,05 - 434,79 MHz	ISM
2400 - 2450 MHz	družicové amatérské vysílání
2450 - 2483,5 MHz	RFID, SRD pro radiové určování
2483,5 - 2500 MHz	SRD pro radiové určování, ISM
5725 - 5830 MHz	amatérské vysílání, radarové hladinoměry
5830 - 5850 MHz	amatérské vysílání, radarové hladinoměry
5850 - 5925 MHz	SRD pro telematiku, ISM
24 - 24,05 GHz	SRD pro telematiku, nespecifikované SRD
24,05 - 24,25 GHz	SRD pro radiové určování, ISM
59,3 - 62 GHz	širokopásmový přenos dat, pasivní čidla na družicích

1.4 Wi-Fi

Jelikož tato práce pojednává o bezdrátovém měření veličin, konkrétně o bezdrátovém měření tlaku, je žádoucí probrat některé základní technologie pro přenos dat, které by mohli být pro toto měření vhodné. Jednou z těchto technologií je bezesporu technologie Wi-Fi.

Wi-Fi je zkratka pro Wireless Fidelity, neboli bezdrátová věrnost. Zkratka Wi-Fi je ovšem pouze komerční označení zavedené společností WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance). Logo Wi-Fi, které společnost WECA uděluje certifikovaným výrobkům je na obr.: 1.7. Celá technologie je založena na rodině protokolů IEEE 802.11 a pracuje v bezlicenčním ISM pásmu 2,4 GHz a 5 GHz. Hlavní výhodou Wi-Fi je nízká cena. Ta je zapříčiněna tím, že certifikovaná zařízení jsou vyráběna ve velkých sériích. Primárním cílem Wi-Fi bylo nahrazení kabelového ethernetu v bezlicenčním pásmu. Mezi hlavní nevýhody Wi-Fi patří bezpečnost a rušení. V současnosti mají Wi-Fi sítě převážně uplatnění jako korporátní sítě a veřejné přístupové sítě k Internetu.



Obrázek 1.7: Certifikované logo Wi-Fi[8]

Jak je zmíněno výše, Wi-Fi vychází z protokolů IEEE 802.11. První standard byl vydán v roce 1997 a umožňoval maximální přenosovou rychlost 2 Mbit/s. Dále budou popsány některé varianty standardu 802.11.

První variantou je standard IEEE 802.11b. Ten byl vydán roku 1999 a dovoľoval přenášet data rychlostí až 11 Mbit/s. Pro tuto skutečnost byl změněn způsob kódování na doplňkové kódové klíčování CCK (Complementary Code Keying) a také z původně tří technologií, používaných na fyzické vrstvě, ze standardu 802.11 zbyla jediná, DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Další změnou je to, že dle aktuální síly a kvality signálu se dynamicky mění přenosová rychlost v rámci těchto čtyřech předdefinovaných rychlostí:

- 1 Mbit/s,
- 2 Mbit/s,
- 5,5 Mbit/s,
- 11 Mbit/s.

Ve stejném roce byl vydán druhý standard, IEEE 802.11a. Největší odlišností od standardu 802.11b bylo posunutí do uvolněného pásma 5 GHz a samozřejmě vyšší přenosová rychlost, která činila 54 Mbit/s. Na fyzické vrstvě byla použita technologie OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). Posunutí kmitočtového pásma z 2,4 GHz do nevytíženého pásma 5 GHz znamenalo využití více přenosových kanálů bez vzájemného rušení.

Třetím standardem je IEEE 802.11g, vydaný v roce 2003. Tento standard opět přechází do pásma 2,4 GHz a je zpětně kompatibilní s IEEE 802.11b. Rozdíl je v přenosové rychlosti, která dosahuje 54 Mbit/s. Fyzická vrstva využívá technologii OFDM a opět lze dle síly a kvality signálu měnit přenosovou rychlost. Jsou to přenosové rychlosti 1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 22, 24, 33, 36 a 48 Mbit/s.

Posledním standardem, který bude v práci zmíněn, je standard IEEE 802.11h. Pracuje v pásmu 5 GHz, jako standard IEEE 802.11a, a také dosahuje maximální přenosové rychlosti 54 Mbit/s. Přibíla schopnost dynamické volby frekvencí DFS (Dynamic Frequency Selection) a schopnost regulování vysílacího výkonu TPC (Transmit Power Control). Pomocí DFS je vždy vybrán takový přenosový kanál, který je volný. TPC potom upravuje vysílací výkon potřebám každé komunikace. Jinými slovy, vysílací výkon není vyšší, než jaký daná komunikace potřebuje. Tato metoda snižuje riziko rušení ostatních přenosů.

Na závěr je uvedena srovnávací tabulka 1.3, která ukazuje rozdíl mezi jmenovitou a reálnou přenosovou rychlostí.[6] [7]

Tabulka 1.3: Jmenovitá vs. reálná rychlost[7]

Standard	Jmenovitá rychlost	Reálná rychlost
802.11b	11 Mbit/s	do 6 Mbit/s
802.11g	54 Mbit/s	do 22 Mbit/s
802.11a	54 Mbit/s	do 25 Mbit/s

Technologie Wi-Fi je v současné době velmi rozšířenou technologií, která umožňuje vysoké přenosové rychlosti a přenos objemných dat. Avšak pro tento konkrétní případ bezdrátového měření tlaku je zbytečné použití této technologie, jelikož zde probíhá přenos malého objemu informací na malé vzdálenosti. Není proto zapotřebí tak vysokých přenosových rychlostí.

1.5 Bluetooth

Další technologií, která by mohla být použita pro bezdrátové měření veličin, je technologie Bluetooth. Ta byla vyvinuta v roce 1994 firmou Ericsson. První verze specifikací vyšla až roku 1999. Původně měla být technologie Bluetooth náhradou za drátové sériové rozhraní RS-232. Stejně jako Wi-Fi, pracuje Bluetooth v bezlicenčním pásmu ISM 2,4 GHz a je definována standardem IEEE 802.15.1. Bluetooth používá metodu kmitočtových skoků rozprostřeného spektra FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) s rychlostí 1600 přeskoků za sekundu mezi 79 frekvencemi s rozestupem 1 MHz. Pro přenos dat je použita modulace s frekvenčním klíčováním GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). Oficiální logo technologie Bluetooth znázorňuje obr.: 1.8.



Obrázek 1.8: Oficiální logo Bluetooth[9]

Technologie Bluetooth slouží k propojení dvou a více elektronických zařízení mezi sebou na krátké vzdálenosti, jako jsou osobní počítače, bezdrátová sluchátka nebo mobilní telefony. Krátkým dosahem je myšlena vzdálenost standardně do 10 m. Bluetooth má několik specifikací a ty podle maximálního výstupního výkonu definují tři třídy zařízení. Třídy jsou uvedeny v tabulce 1.4. Komunikační dosahy jednotlivých tříd, uvedených v tabulce platí pouze ve volném prostoru. S různými překážkami se komunikační dosah samozřejmě zmenšuje.

Tabulka 1.4: Třídy zařízení technologie Bluetooth[9]

Třída	Maximální výstupní výkon	Dosah
I.	10 mW	cca 100 m
II.	2,5 mW	cca 50 m
III.	1 mW	cca 10 m

Komunikace přes technologii Bluetooth může probíhat jako bod-bod P-P (point to point) nebo jako komunikace jednoho bodu s více body v síti (point to multipoint), kde pouze jedno zařízení může být typu Master a zbylá zařízení musí být typu Slave, tato zařízení se nacházejí v tzv. „pikosíti“. V této pikosíti jsou všechna zařízení synchronizována s taktem řídicí stanice metodou FHSS. Několik pikosítí mezi sebou může tvořit tzv. rozprostřenou síť, kde se nachází několik zařízení typu Master. V rozprostřené síti může zařízení, které vystupuje v pikosíti jako Master, být zařízením typu Slave.[9] [10] [11] [12] [13] [14]

Jak je zmíněno výše, technologie Bluetooth prošla za řadu let několika vylepšeními. Existuje celá řada specifikací. První specifikace vyšla v roce 1999, měla však spoustu problémů. Zde je výčet všech specifikací: „

- **Bluetooth 1.0 a 1.0B** - první verze, vykazovala mnoho problémů,

- **Bluetooth 1.1** - tato verze již byla ratifikována jako standard IEEE 802.15.1 v roce 2002, chyby z předchozích verzí byly opraveny,
- **Bluetooth 1.2** - verze 1.2 je zpětně kompatibilní s verzí 1.1 a jedná se o standard IEEE 802.15.1-2005, mezi hlavní změny patří větší přenosová rychlost - až 721 kbit/s,
- **Bluetooth 2.0 + EDR** - uvedena v roce 2004 a zavádí technologii EDR (Enhanced Data Rate) pro rychlejší přenos dat, který v tomto případě činí 3 Mbit/s,
- **Bluetooth 2.1 + EDR** - uvedena v roce 2007 a mezi hlavní zdokonalení patří případný režim pro snížení spotřeby modulu,
- **Bluetooth 3.0 HS** - tato verze byla přijata v roce 2009 a podporuje teoretickou přenosovou rychlost až 24 Mbit/s, specifikace Bluetooth 3.0 HS je založena na protokolu 802.11 PAL (Protocol Adaptation Layer), vycházejícího ze standardu Wi-Fi, Bluetooth 3.0 HS tedy používá cizí hardware, který je definovaný standardem 802.11,

“[10]

- **Bluetooth 4.0** - uvedena v roce 2010, největší změnou je její nízkoenergetická náročnost, která je vhodná pro zařízení s nízkými datovými toky,
- **Bluetooth 4.2** - uvedena v roce 2014, klade si za cíl zvýšení zabezpečení komunikace a navýšení přenosové rychlosti, zahrnuje protokol 6LoWPAN.[14]

2 Princip TPMS systémů

Tato kapitola má za cíl přiblížit komerční systémy pro monitorování tlaku v pneumatikách TPMS a seznámit s jejich základními typy. Téměř každý výrobce vyžívá ve svých vozech jiný monitorovací systém, respektive jiný druh monitorování tlaku v pneumatikách.

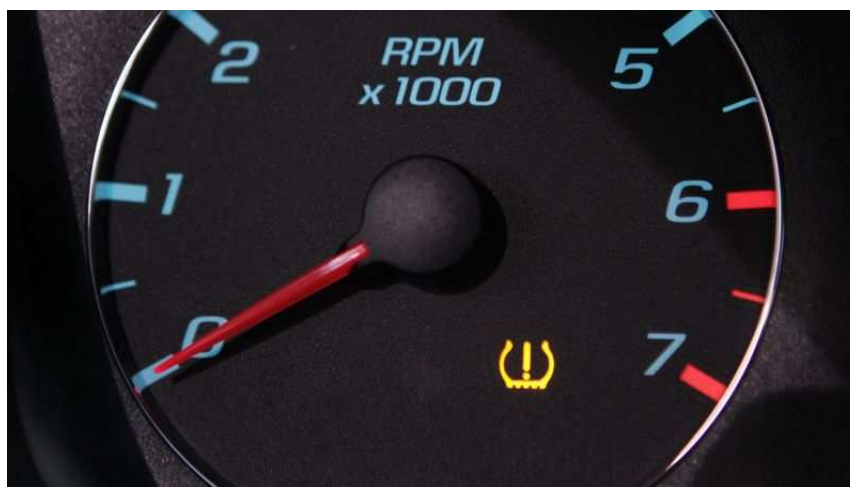
Systémy pro monitorování tlaku v pneumatikách TPMS (Tire Pressure Monitoring System) jsou od listopadu 2014 povinné pro všechny automobily určené pro trhy v Evropské unii. Podle norem ES 661/2009 a ECE-R 64 musí mít každý automobil, vyrobený po listopadu 2014, systém pro monitorování tlaku v pneumatikách. Evropská unie si od tohoto kroku slibuje vyšší bezpečnost aut na silnicích, jelikož vozy s podhuštěnými pneumatikami mají horší jízdní vlastnosti, především se prodlužuje brzdná dráha automobilu. Automobil je hůře ovladatelný a také je zde možnost snížení spotřeby pohonných hmot. Automobil se špatně nahuštěnými pneumatikami má totiž vyšší spotřebu, a tím také produkuje vyšší množství oxidu uhličitého. Spotřeba pohonných hmot se při nesprávně nahuštěných pneumatikách může zvýšit až o 5 %. Dalším aspektem nesprávně nahuštěných pneumatik je jejich menší životnost, která se může snížit až o 20 %. Monitorováním tlaku v pneumatikách a dodržováním správného stavu se může ušetřit značné množství pohonných hmot. Podle odhadů Evropské unie to bude více než miliarda litrů ročně, a také snížení oxidu uhličitého, zhruba o 4,8 milionů tun ročně. Tato čísla nepochybně nejsou malá a tato nařízení mají smysl.[15]

Systémů pro monitorování tlaku v pneumatikách TPMS je celá řada. Dají se dělit podle několika parametrů. Jedním z nich je typ snímání tlaku. Uplatňuje se buď přímé měření tlaku uvnitř pneumatiky nebo nepřímé monitorování, které vyhodnocuje úbytek tlaku v pneumatice pomocí informací z jiných senzorů, typicky ABS a ESP. Dále se systémy dají dělit dle způsobu zobrazování. Jsou systémy, které zobrazují aktuální hodnotu tlaku v pneumatice a systémy, které pouze indikují, zda došlo k úniku tlaku z pneumatiky. Tato indikace je prováděna převážně prostřednictvím rozsvíceného kontrolního světla na palubové desce automobilu. Též existují monitorovací systémy, které zobrazují údaje o stavu tlaku v pneumatikách rovnou na palubním počítači automobilu, to je případ systémů přímo od výrobce automobilů. Druhým typem jsou systémy, které zobrazují informace o stavu tlaku v pneumatikách na externím displeji. Tyto systémy nejsou součástí výbavy automobilu, ale každý řidič si je může dokoupit. Všechny tyto druhy zmíněných systémů jsou popsány v nadcházejících podkapitolách.

2.1 Nepřímé měření tlaku v pneumatikách

Jak je zmíněno výše, systémy pro monitorování tlaku v pneumatikách se dají dělit podle způsobu monitorování do dvou variant. Nepřímé měření tlaku v pneumatikách je jednou z nich. Tato varianta neměří přímo tlak v pneumatice, ale určuje jeho pokles z již dostupných údajů jiných čidel. Konkrétně systém využívá údaje z čidel ABS a ESP.

Není pravidlem, že systém musí využívat údaje z obou čidel. V některých případech může systém využívat informace pouze z čidla ABS. Nepřímý monitorovací systém shromažďuje informace o rychlosti otáčení kola a jeho vibracích a tyto informace dále zpracovává. Vychází ze závislosti mezi obvodem kola a jeho rychlostí. Když je kolo podhuštěné, má menší obvod, a tím pádem se točí vyšší rychlostí. Systém tuto informaci o rychlosti otáčení kola porovnává s údaji, které má k dispozici od ostatních kol a podle toho vyhodnocuje, zda došlo či nedošlo k úniku vzduchu z pneumatiky. Pokud systém zjistí, že je kolo podhuštěné, rozsvítí se výstražné kontrolní světlo na palubní desce. K rozsvícení světla dochází například při úbytku vzduchu o 30 %. Kontrolka, která upozorňuje na únik tlaku z pneumatiky je zobrazena na obr.: 2.1.



Obrázek 2.1: Výstražné kontrolní světlo indikující únik vzduchu z pneumatiky[16]

Nepřímý monitorovací systém má samozřejmě několik výhod a nevýhod. Všechny tyto vlastnosti jsou vztahované k přímému monitorovacímu systému. Mezi hlavní výhody nepřímého systému patří jednoduchá montáž. Je zapotřebí pouze softwarová úprava ABS a ESP. Druhou výhodou je nulová údržba, jelikož zde není potřebný žádný přídavný hardware, který by zmíněnou údržbu vyžadoval. Poslední velkou výhodou jsou nízké pořizovací náklady.

Do nevýhod nepřímého monitorovací systému je možno zahrnout to, že vždy detekuje úbytek vzduchu s určitým nemalým zpožděním. Typicky se toto zpoždění pohybuje okolo jedné minuty. Proto, aby systém mohl detekovat případný úbytek vzduchu z pneumatik, musí být vozidlo v pohybu. Do nevýhod může také patřit to, že systém neudává hodnotu tlaku, ale pouze signalizuje, zda došlo k úniku vzduchu. Po dohuštění nebo po výměně kola či pneumatiky je nutné systém resetovat. Tento systém monitorování tlaku není neomylný, a proto se může stát, že systém chybně vyhodnotí určitou situaci. Pro upřesnění jsou zde uvedeny dva případy možného chybného vyhodnocení situace. Jelikož se informace z jednoho kola porovnávají s informacemi od ostatních kol, je teoreticky možné, že všechna kola budou podhuštěná na stejnou úroveň a systém chybně vyhodnotí, že k úniku vzduchu nedošlo. Druhá situace uvažuje, že na jedné nápravě automobilu jsou opotřebované, ale správně nahuštěné pneumatiky a na druhé nápravě jsou nové, ale podhuštěné pneumatiky. V tomto případě může dojít k vyrovnání otáček mezi nápravami a ani v tomto případě systém nevydá varovný signál.

Nepřímý monitorovací systém například využívají například automobilky BMW, Mercedes Benz a koncern Volkswagen.[16] [17]

2.2 Přímé měření tlaku v pneumatikách

Druhá varianta způsobu monitorování tlaku v pneumatikách se nazývá přímý monitorovací systém. Tento systém má fyzicky uvnitř kola senzor, který měří aktuální tlak v pneumatice a přenáší tuto informaci na displej. Kromě tlaku může měřit a zobrazovat také teplotu v pneumatice nebo stav baterie senzoru. Tyto informace jsou téměř bez zpoždění dostupné řidiči automobilu. Systém má dvě části. První část je již zmiňovaný senzor, který má za úkol změřit aktuální tlak a poslat informaci druhé části, která se nachází v kabině vozidla. Ta vyslanou informaci přijme, zpracuje a zobrazí na displeji, který může být externí nebo součástí palubního počítače. Obě části mezi sebou komunikují prostřednictvím radiových vln na frekvenci 434 MHz. Toto pásmo platí pro Evropu. Ukázky TPMS senzorů jsou na obr.:2.2.



Obrázek 2.2: TPMS senzory[18]

Systém má opět několik výhod a nevýhod, oproti nepřímému monitorovacímu systému. Mezi výhody určitě patří zaznamenávání přesného tlaku a teploty v každém kole. Systém monitoruje tlak i na stojícím vozidle, tudíž se naskytuje možnost uložení senzoru i do rezervního kola. Další výhodou je, že systém poskytuje okamžité informace o případném defektu či o pozvolném úniku vzduchu.

Hlavní nevýhodou je nejpravděpodobněji vyšší pořizovací cena monitorovacího systému (samozřejmě vztážená k nepřímému monitorovacímu systému). Dále jsou zde vyšší náklady na údržbu, jelikož je zapotřebí sledovat stav baterie a těsnost senzoru. Při výměně senzoru se musí nový senzor spárovat s elektronickou řídicí jednotkou. Při výměně pneumatiky je nutné dbát na vyšší opatrnost, protože se senzory mohou snadno poškodit. Přímý monitorovací systém používají například automobilky Ford, Renault nebo Peugeot.

V následujících odstavcích bude probrána první část přímého monitorovacího systému, která se nachází uvnitř kola. Druhá část bude probrána v následujících podkapitolách, které pojednávají o dalších dvou možnostech zobrazování informací.

Senzor monitorovacího systému je uchycen v prostoru mezi ráfkem a pneumatikou. Senzor může být uchycen několika způsoby, jeden způsob uchycení je na obr.: 2.3. Jedná se o způsob, kdy je senzor uchycen k ventilku a následně k ráfku kola. Kromě uchycení k ventilku je možné senzor přilepit přímo na ráfek prostřednictvím vhodného lepidla nebo ho připevnit k ráfku stahovací objímkou.

První část přímého monitorovacího systému má několik částí. Samozřejmostí jsou čidla teploty a tlaku, někdy bývají doplněna akcelerometrem. Dalším prvkem je mikrokontrolér, který vyhodnocuje informace z čidel a připravuje je pro vysílání. Proto nesmí chybět RF vysílač a vysílací anténa. Tyto prvky zprostředkovávají přenos dat druhé části. Důležitým



Obrázek 2.3: Jeden ze způsobů uchycení senzoru[19]

prvek je zdroj napětí, zde se typicky jedná o 3 V baterii. V praxi jsou čidla, mikrokontrolér a RF vysílač integrovány na jednom čipu, jelikož toto uspořádání šetří místo a také snižuje poruchovost systému. Jedinými externími prvky jsou vysílací anténa a zdroj napětí. Podle odhadů některých výrobců TPMS systémů, vydrží baterie uvnitř senzoru 5 až 7 let. Podrobnější popis konkrétního typu senzoru se nachází v podkapitole 3.1.

Ventilek, na kterém bývá senzor uchycen, je zpravidla také jeho vysílací anténou. Proto je nutná určitá údržba ventilků a jeho kontrola. Je nutné si uvědomit, že ventilek pro TPMS systémy není konstrukčně stejný jako obyčejný a běžně dostupný ventilek. Nejdůležitější je ochrana proti korozi. Jedním z problémů TPMS ventilků jsou kovové čepičky. Ty totiž velice často, zvláště v zimě, korodují a přichycují se k závitům ventilků. Při následném pokusu vyšroubování čepičky z ventilků může dojít k poškození TPMS senzoru uvnitř kola. Řešením na tento druh problému jsou plastové čepičky. Obdobný problém vzniká také u jádra ventilků, pomocí kterého se upouští z pneumatiky vzduch. Jádro je také šroubovací a při potřebě rychlejšího vypuštění vzduchu z pneumatiky se jádro zcela vyšroubuje. U většiny ventilků jsou jádra mosazná. Tělo TPMS ventilků je hliníkové a velice dobře reaguje právě s mosazným jádrem. Opět může dojít k přichycení jádra k tělu ventilků a při snaze jádro vyšroubovat se s největší pravděpodobností TPMS systém poškodí. Řešení nabízí použití poniklovaných jader ventilků. Po několika vyšroubování a následných zašroubování je však nutné i toto jádro vyměnit za nové. Důvodem je poničení vrstvy niklu na jádře ventilků třením mezi závity těla ventilků. Poté může znovu dojít k přichycení jádra k tělu ventilků. Obecně lze říci, že je nutná pravidelná kontrola a servis ventilků, aby nebyla narušena správná funkce TPMS systému.[16] [18] [20]

2.2.1 Systémy zobrazující informace na palubním počítači

Druhá část přímého monitorovacího systému se nachází uvnitř automobilu a má za úkol zobrazovat aktuální tlak v pneumatikách, případně i další různé informace, na displeji pro

řidičovu přehlednost. Systémy zobrazující informace na palubním počítači přijmou informace o stavu tlaku v pneumatikách a prostřednictvím sběrnice CAN nebo LIN informace odešlou na palubní počítač. Ukázka tohoto zobrazení na palubním počítači je obr.: 2.4.



Obrázek 2.4: Zobrazení o stavu tlaku v pneumatikách na palubním počítači[16]

V principu je u tohoto systému zapotřebí přijímací antény, RF přijímače, mikrokontroléru pro zpracování a odeslání informace na palubní počítač. Tyto základní bloky TPMS systémů jsou stejné pro systémy zobrazující informace na externím displeji. Výjimkou je pouze externí displej. Tento druh systémů je již součástí výbavy automobilů. Naopak systémy v podkapitole 2.2.2 si může řidič pořídit do libovolného automobilu.

2.2.2 Systémy zobrazující informace na externím displeji

Jak je zmíněno výše, základní blokové schéma pro systémy zobrazující informace na externí displej je stejné jako pro systémy popsané v podkapitole 2.2.1. Je tedy stejný i princip funkce, kdy je informace přijata prostřednictvím přijímací antény a RF přijímače a pomocí mikrokontroléru je poslána na externí displej. Ukázka jednoho z mnoha systémů je na obr.: 2.5.



Obrázek 2.5: Přídavný TPMS systém[21]

Tyto systémy mají zpravidla napájení realizované prostřednictvím zapalování v automobilu. Stejně jako TPMS senzor, bude konkrétní případ tohoto systému podrobněji popsán v podkapitole 3.2.

3 Vlastní návrh TPMS

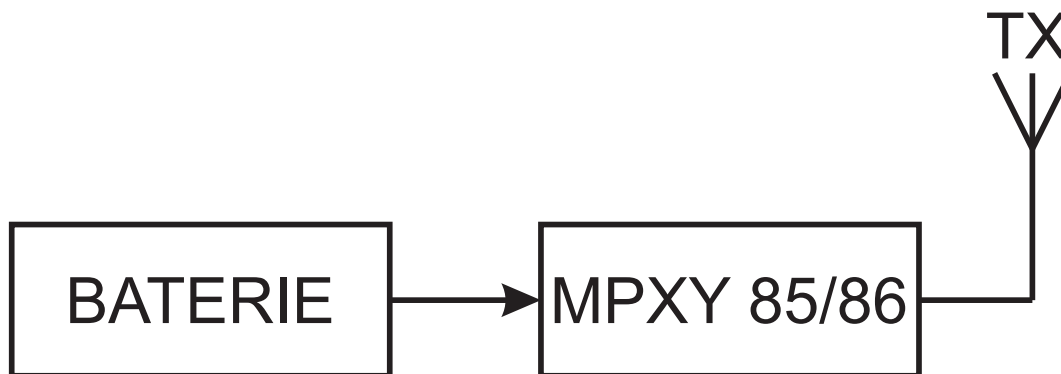
Tato kapitola pojednává o vlastním návrhu TPMS zařízení, který zahrnuje vlastní návrh TPMS senzoru a přijímacího a zobrazovacího zařízení uvnitř automobilu.

3.1 Návrh TPMS uvnitř kola

Pro TPMS senzor byl použit MEMS senzor řady MPXx8xxxD od firmy Freescale Semiconductor. Tento senzor již není firmou doporučován pro nové návrhy, ale vzhledem k nemožnosti získání jeho nástupce, byl zvolen právě tento senzor.

3.1.1 Blokové schéma

Jelikož jsou u TPMS senzoru všechny potřebné bloky integrovány na jediném čipu, je blokové schéma první části TPMS systému velmi primitivní. Blokové schéma je na obr.: 3.1. Jak je z obrázku zřejmé, k TPMS senzoru v podstatě stačí připojit pouze zdroj napětí



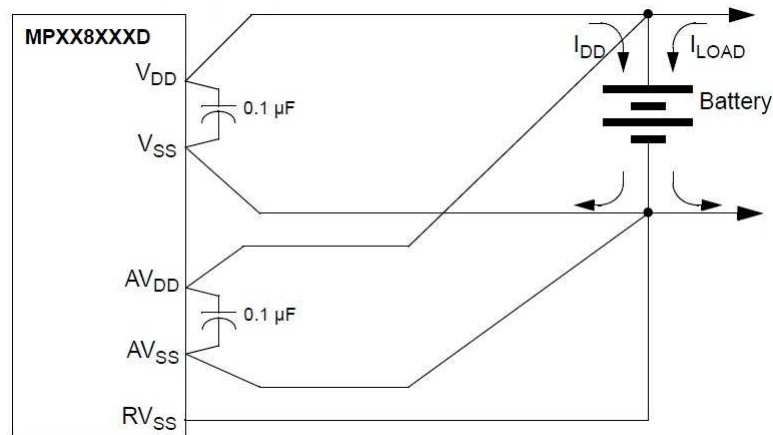
Obrázek 3.1: Blokové schéma TPMS uvnitř kola

a vysílací anténu. Všechny ostatní bloky již zahrnuje samotný TPMS senzor. Za zdroj napětí byla zvolena lithiová baterie o jmenovitém napětí 3 V. Typ a délka antény není v katalogovém listu TPMS senzoru blíže specifikována. Pro tuto aplikaci byla anténa realizována pomocí kovového pásku, který je ještě připevněn k ventilku pro dosažení větší efektivní délky antény. Blok MPXx8xxxD například zahrnuje senzor tlaku, teploty, akcelerometr, osmi bitový mikrokontrolér s jádrem HCS08, LF přijímač a RF vysílač. Některé tyto bloky blíže popisuje podkapitola 3.1.3.[31]

3.1.2 DPS

Při tvoření desky plošných spojů byl kladen důraz zejména na miniaturizaci. Vzhledem k tomu, že TPMS senzor je upevněn prostřednictvím ventilku na ráfek kola, je tento

důraz vcelku logický. Baterie pro napájení senzoru je přiletována přímo na DPS ze strany součástek. Není to obvyklý způsob, jelikož se zvětšuje výška TPMS senzoru. V praxi je baterie umístěna vedle DPS a celý systém je vysoký několik milimetrů na úkor větší šířky. Dle katalogového listu je doporučen dvojí rozvod napájení hvězdicovou technologií pro oddělené napájení analogové části a digitální části. Princip tohoto rozvodu napájení je zobrazen na obr.: 3.2. Mezi napájecími piny jsou zapojeny filtrovací kondenzátory o hodnotě 100 nF.[31]



Obrázek 3.2: Hvězdicový rozvod napájení MPxx8xxxD[31]

3.1.3 MPXx8xxxD

Pro návrh TPMS senzoru byl zvolen MEMS senzor od firmy Freescale Semiconductor řady MPXx8xxxD. Přesněji jde o senzor MPXY8600DK6T1. Senzor se nachází v QFN pouzdře s 32 piny o velikosti 9 x 9 mm. Následuje výčet několika základních parametrů senzoru:

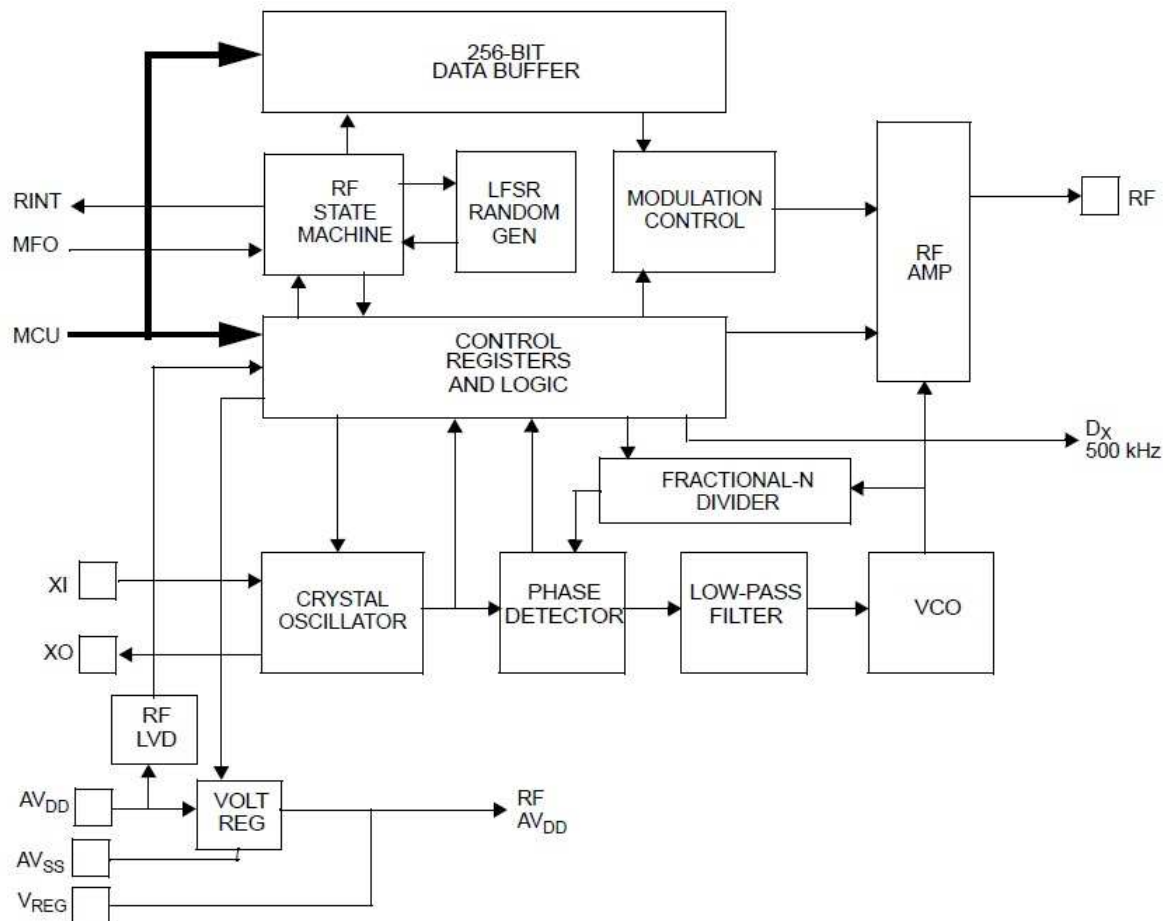
- senzor tlaku s dvěma kalibrovanými rozsahy,
- senzor teploty,
- akcelerometr s měřením ve dvou osách,
- referenční napětí měřené A/D převodníkem,
- 10 bitový A/D převodník s dvěma externími vstupy,
- 8 bitový mikrokontrolér,
- vnitřní RF vysílač,
- 6 obecně použitelných pinů,
- dvou kanálový časovač,
- vnitřní oscilátory různých kmitočtů,
- detekce nízkého napětí,

- diferenční vstup LF (Low Frequency) detektoru.

Výše zmíněné dva rozsahy pro měření tlaku jsou 100 - 900 kPa a 100 - 450 kPa. Senzor, který je použit v této práci má rozsah 100 - 900 kPa. Mezi modulacemi je na výběr mezi FSK a OOK modulací. Pro tuto práci je použita modulace OOK.

Senzor má čtyři režimy použití. Prvním režimem je klasický režim, kdy mikrokontrolér vykonává program z vnitřní paměti. Tento režim je vybrán, když je BKGD pin v logické 1 při náběžné hraně resetu. Druhý režim se nazývá režim čekání. Tento režim se typicky vyskytuje v mikrokontrolérech řady S08, ovšem v TPMS aplikacích není tento režim běžně používán. Třetí režim slouží pro nahrávání programu do mikrokontroléru. Do tohoto režimu se lze například dostat, když je pin BKGD v logické 0 při náběžné hraně resetu. Posledním pracovním režimem je stop režim. Do tohoto režimu se vstupuje vykonáním instrukce STOP. Ve stop režimu jsou zastaveny všechny vnitřní hodiny, až na 1 kHz LF oscilátor. Ten je zapnut vždy, když je připojené napětí mezi piny V_{DD} a V_{SS} . Pro optimalizaci spotřeby energie slouží LF přijímač, pomocí kterého je vhodně buzen TPMS senzor, který je poté připraven vyslat informaci o stavu tlaku.

Zasílání dat druhé části TPMS systému zprostředkovává blok RF vysílač. Blokové schéma RF modulu je na obr.: 3.3. RF vysílač se skládá z napěťově řízeného oscilátoru

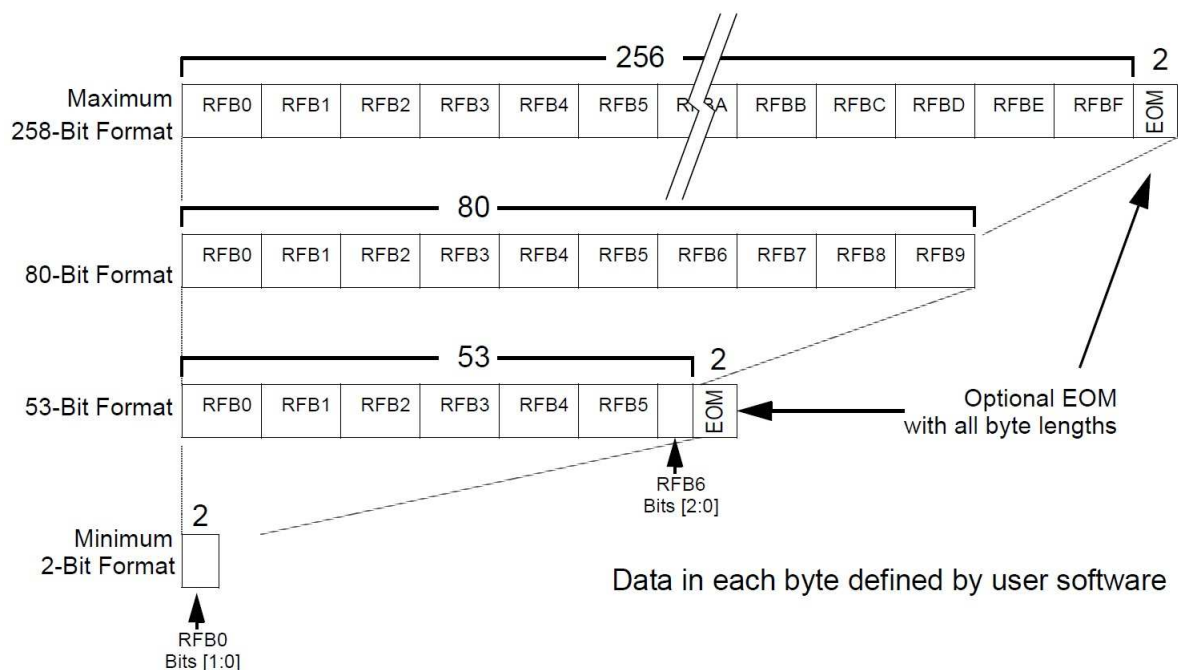


Obrázek 3.3: Blokové schéma RF vysílače[31]

VCO, fázového závěsu PLL a výstupního RF zesilovače pro anténu. K RF vysílači je také připojen prostřednictvím pinů XI a XO externí oscilátor s taktovací frekvencí 26 MHz.

RF modul může pracovat ve dvou RF režimech dat, RF režim vyrovnávací paměti dat a přímý MCU režim. V prvním zmíněném režimu jsou data posílána prostřednictvím vyhrazeného hardwaru. Díky tomu může MCU přejít do úsporného režimu na celou dobu přenosu. V druhém případě jsou modulovaná data zasílána na výstup RF modulu přímo prostřednictvím MCU.

V režimu datové vyrovnávací paměti je možné volit délku datového rámce v rozmezí od 2 do 256 bitů s možností dvou koncových bitů pro ukončení rámce. Ukázka několika datových rámců je na obr.: 3.4. Datové rámce se dají libovolně kombinovat do jednoho datagramu. Kombinace jsou závislé na uživatelském softwaru. Počet datových rámců v jednom datagramu může být 1 až 16 a je závislý na nastavení čtyř bitů FNUM. Vyrovnávací paměť je rozdělena do dvou stránek po 128 bitech. Stránky jsou vybírány bitem RPAGE v registru PLLCR.



Obrázek 3.4: Příklady formátů datových rámců[31]

Jelikož TPMS systémy pracují v Americe a Evropě na rozdílných frekvencích, je důležité správné nastavení nosné frekvence. Ta se nastavuje řídicím bitem CF. Je-li řídicí bit $CF = 0$, je nosná frekvence nastavena na hodnotu 315 MHz. Je-li řídicí bit $CF = 1$, je nosná frekvence nastavena na hodnotu 434 MHz. V této práci je použita druhá varianta s nosnou frekvencí o hodnotě 434 MHz.

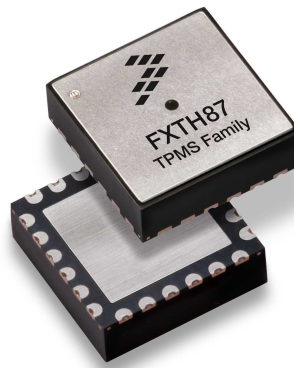
U RF modulu je také možné nastavit maximální výstupní výkon, a to ve 21 úrovních. K tomuto nastavení je k dispozici pětice bitů PWR.

RF modul má 12 registrů pro řízení funkcí a 32 registrů sloužících pro přístup do vyrovnávací paměti.[31]

3.1.4 Alternativa za MPxx8xxxD

Jak je zmíněno výše, senzory řady MPxx8xxxD již firma Freescale Semiconductor nedoporučuje pro nové návrhy. Místo této řady přišla firma na trh s řadou FXTH87xxx. Ta se od svého předchůdce liší zejména velikostí pouzdra, které je o 40 % menší. Dosahuje rozměrů 7 x 7 mm, oproti minulé řadě, která měla velikost pouzdra 9 x 9 mm.

Podle výrobce by toto nové pouzdro mělo být i více odolné. Další změnou je vylepšený LF modul. Změna nastala také v možnostech modulací. Oproti dříve využívaným modulacím FSK a OOK, je zde na výběr mezi modulacemi FSK a ASK. Snížena je také spotřeba energie. Doporučené schéma zapojení se shoduje s doporučeným zapojením pro řadu senzorů MPxx8xxxD. QFN pouzdro pro senzory řady FXTH87xxx s 24 piny je znázorněno na obr.: 3.5.[30] [31]



Obrázek 3.5: Pouzdro pro senzory řady FXTH87xxx[29]

3.1.5 Návrh pouzdra pro senzor v SolidWorks

Navržený TPMS senzor je zapotřebí pevně uchytnit do prostoru mezi ráfkem kola a pneumatikou. Pro toto uchycení existuje několik možností. V této práci byla zvolena varianta, kdy je senzor připevněn k ráfku kola prostřednictvím ventilku. Komerční pouzdra pro TPMS systémy jsou vyráběna metodou vstřikováním plastu do předem připravené formy. Tato metoda nikterak neomezuje design pouzdra a tudíž je možné vyrobit prakticky jakýkoli tvar. Pro účely této práce byla zvolena výroba pouzdra pomocí 3D tiskárny. Při navrhování designu pouzdra muselo být přihlíženo na konstrukční možnosti 3D tiskárny. Proto je celý design pouzdra velmi jednoduchý. Pouzdro bylo navrženo v programu SolidWorks a je složeno ze dvou částí. Fotografie obou částí jsou k dispozici v příloze C. Pro uchycení TPMS senzoru na ráfek kola je zapotřebí speciální ventilku určený pro TPMS systémy. Ukázka ventilku pro TPMS systémy je na obr.: 3.6.



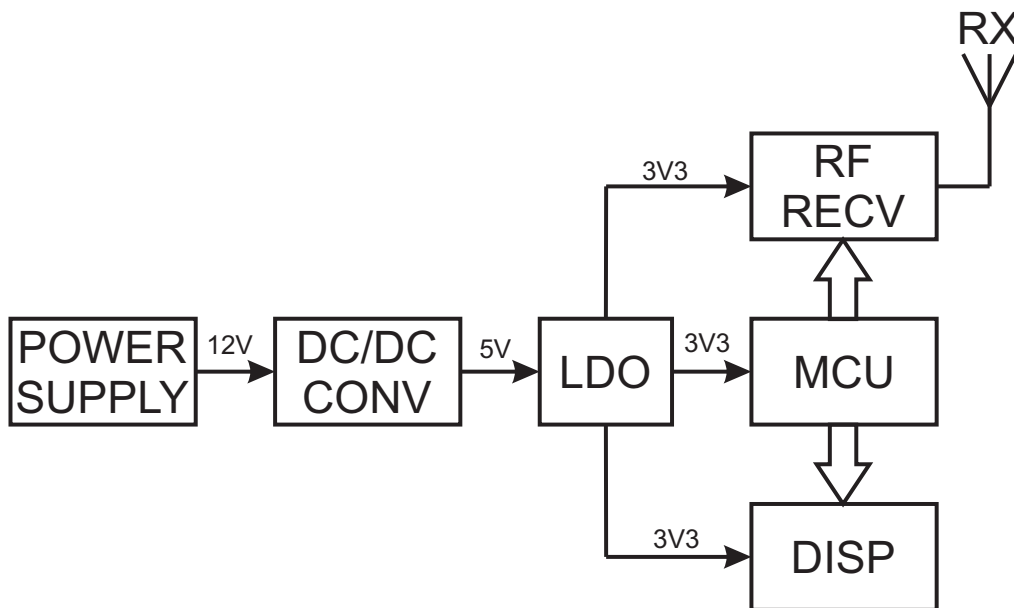
Obrázek 3.6: Ventilku pro TPMS systémy[28]

3.2 Návrh TPMS uvnitř vozu

Následující podkapitoly se budou zabývat návrhem druhé části TPMS systému, která se nachází uvnitř kabiny automobilu.

3.2.1 Blokové schéma

Zjednodušené blokové schéma druhé části TPMS systému znázorňuje obr.: 3.7. Následující odstavce popisují jednotlivé bloky schématu.



Obrázek 3.7: Zjednodušené blokové schéma druhé části TPMS systému

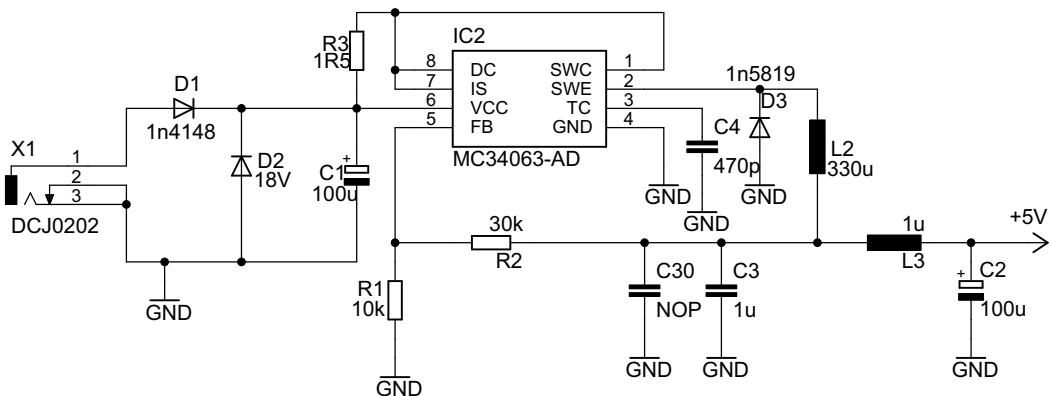
Napájecí zdroj je řešen jako u většiny komerčně vyráběných a prodávaných TPMS systémů. Zařízení je připojeno prostřednictvím zástrčky do automobilového zapalovače, kde je jmenovitá hodnota napětí 12 V.

Tato hodnota napětí je druhým blokem schématu snížena na hodnotu 5 V prostřednictvím DC/DC snižujícího měniče. Schéma zapojení tohoto snižovacího měniče je na obr.: 3.8. Pro měnič byl použit integrovaný obvod MC34063AD. Tento obvod byl zvolen především pro jeho velký rozsah vstupních napětí (3 V až 40 V) a také proto, že je velmi dobře dostupný a rozšířený. Schéma zapojení je doporučené zapojení podle katalogového listu integrovaného obvodu. Hodnoty pasivních součástek okolo integrovaného obvodu byly spočítány s ohledem na požadované parametry měniče podle vzorců v katalogovém listu. Pro počítání hodnot pasivních součástek byla zvolena frekvence 50 kHz a měnič je navrhován pro kolísání vstupního napětí v rozmezí od 8 V do 14 V. Ukázka výpočtu hodnoty kondenzátoru C_3 je dána vztahem 3.1. Po dosazení do vzorce 3.1 vyjde hodnota 1,25 μF . V návrhu pak byla použita hodnota 1 μF .

$$C_3 = (I_{pk} * (t_{ON} + t_{OFF})) / (8 * V_{ripple}) \quad (3.1)$$

Ve vzorci je použito několik proměnných. Zde jsou jejich významy:

- I_{pk} je špičkový proud, který se rovná dvojnásobku maximálního výstupního proudu,
- t_{ON} je doba zapnutí spínače,



Obrázek 3.8: Schéma zapojení DC/DC měniče

- t_{OFF} je doba vypnutí spínače,
- V_{ripple} je maximální přípustné zvlnění výstupního napětí, zvolena byla hodnota 0,4 V.

Jelikož RF přijímač, mikrokontrolér i displej jsou napájeny napětím 3,3 V, bylo nutné za DC/DC snižující měnič zařadit LDO stabilizátor napětí LF33CDT s maximálním výstupním proudem 0,5 A a maximálním napěťovým úbytkem 450 mV. Obecně lze říci, že do LDO stabilizátorů, nebo-li do stabilizátorů s nízkým úbytkem napětí, spadají všechny stabilizátory s maximálním napěťovým úbytkem menším než 500 mV.

Jako jádro celého zapojení byl zvolen mikrokontrolér MC9S08DZ96CLF od firmy Freescale Semiconductor s osmi bitovým jádrem HCS08. Mikrokontrolér komunikuje s RF přijímačem a displejem prostřednictvím SPI sběrnice. Komunikace po sběrnici SPI je řízena čtyřmi signály:

- SCLK - Serial Clock,
- SS - Slave Select,
- MOSI - Master Out - Slave In,
- MISO - Master In - Slave Out.

Hodinový signál je rozváděn signálem SCLK, signál SS slouží pro výběr požadovaného zařízení, se kterým se chystá mikrokontrolér komunikovat a signály MISO a MOSI slouží pro přenos dat. Pomocí sběrnice SPI se dají data přenášet oběma směry. Pro přenos dat z řídicí stanice (Master) do řízené stanice (Slave) slouží signál MOSI a pro přenos dat z řízené stanice do řídicí stanice slouží signál MISO. Mikrokontrolér přijímá data z TPMS senzoru o aktuálním stavu tlaku v pneumatikách prostřednictvím RF přijímače a posílá je na displej. Některé parametry mikrokontroléru a další jeho popis se nachází v následující podkapitole.

Dalším blokem schématu je RF přijímač SI 4313 společně s přijímací anténou od firmy Taoglas. Anténa pracuje v bezlicenčním ISM pásmu 434 MHz. Má lineární polarizaci, impedanci 50 Ω a jmenovitý výkon 5 W. Délka antény činí 44.8 mm. RF přijímač je od firmy Silicon Laboratories s frekvenčním rozsahem 240 MHz až 960 MHz. RF přijímač SI 4313 je navržen pro zařízení s bateriovým napájením. V pohotovostním režimu odebírá přijímač pouze řádově stovky nA. Napájecí napětí přijímače je podle katalogového listu typicky 3 V. S mikrokontrolérem komunikuje RF přijímač pomocí tří vodičů SPI rozhraní.

Posledním blokem výše zmíněného schématu je displej EA-DOGL128-6 GRAPHIC od firmy ELECTRONIC ASSEMBLY. Displej má rozlišení 128 x 64 bodů. Napájecí napětí se pohybuje v rozmezí od 3 V do 3.3 V, typická spotřeba činí 320 μ A. Displej také disponuje přídatným podsvícením pro navýšení kontrastu.[22] [23] [24] [25] [26] [27]

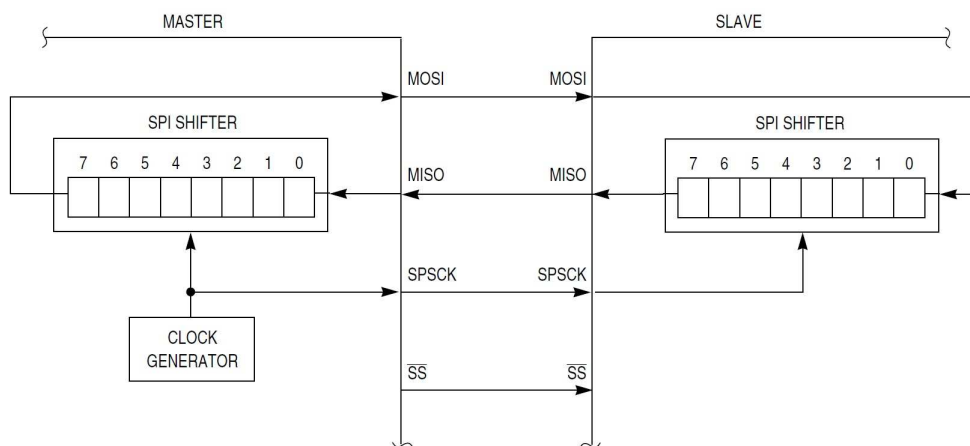
3.2.2 Procesor MC9S08DZ96CLF

Jak je zmíněno výše, pro zařízení byl zvolen mikrokontrolér MC9S08DZ96CLF od firmy Freescale Semiconductor s osmibitovým jádrem HCS08. Mikrokontrolér je zapouzdřen v LQFP pouzdru se 48 piny o velikosti 7 x 7 mm. Základní parametry tohoto mikrokontroléru jsou:

- centrální procesorová jednotka HCS08,
- maximální hodnota externího oscilátoru je 40 MHz,
- podpora až 32 zdrojů přerušení,
- 96K FLASH paměť pro program,
- RAM paměť o velikosti 6K a EEPROM paměť o velikosti 2K,
- 3 režimy pro úsporu spotřeby (stop režim, čekací režim a velmi úsporný režim přerušení v reálném čase),
- systém ochran (ochrana paměti FLASH a EEPROM, nelegální detekce adresy s resetem, nelegální detekce operačního kódu s resetem, ...),
- podpora vývoje prostřednictvím jednovodičového ladícího rozhraní,
- 12 bitový A/D převodník s 24 kanály,
- dva analogové komparátory,
- SPI rozhraní s možností obousměrného přenosu jak dvěma, tak jedním vodičem,
- 6 kanálový, 2 kanálový a 4 kanálový časovač,
- až 39 obecně použitelných vstupně-výstupních pinů,
- volitelná doba přeběhu na všech výstupních pinech.

Mikrokontrolér komunikuje s displejem a RF přijímačem pomocí SPI sběrnice. Základní funkce SPI modulu mikrokontroléru jsou:

- provozní režim v podobě Master nebo Slave,
- plně obousměrná komunikace po dvou vodičích nebo obousměrná komunikace po jednom vodiči,
- programovatelná přenosová rychlost,
- nastavení fáze a polaritý signálu SCLK,
- možnost volby, zda se první odesílá nejvyšší či nejnižší bit zprávy.



Obrázek 3.9: Blokové schéma spojení dvou stanic přes SPI[25]

Na obr.: 3.9 je znázorněn princip přenosu dat mezi dvěma stanicemi prostřednictvím sběrnice SPI. Jde o spojení dvou mikrokontrolérů v uspořádání Master - Slave. Celou komunikaci řídí stanice Master. Během přenosu posouvá stanice Master data do stanice Slave a současně s taktem hodin se posouvají data ze stanice Slave zpět do stanice Master. Tímto způsobem se efektivně přesunou data z jednoho posuvného registru do druhého a naopak. Pro komunikaci se stanicí Slave musí být signál SS (Slave Select) v aktivní úrovni. V tomto případě je aktivní úroveň signálu logická 0. Kromě principu na obr.: 3.9, kde je znázorněn obousměrný přenos dat mezi dvěma mikrokontroléry, je možný pouze jednosměrný přenos, kde putují data pouze ze stanice Master do stanice Slave nebo naopak. Tento jednosměrný přenos je použit i v této práci pro komunikaci mezi mikrokontrolérem a displejem.

Pro správné fungování komunikace je zapotřebí správné nastavení řídicích bitů pinů SPSCK, MOSI, MISO a SS. Pokud je pin SPSCK povolen v režimu Master, jsou sériové hodiny nastaveny jako výstup. Pokud je pin SPSCK povolen jako Slave, jsou sériové hodiny nastaveny jako vstup. Prostřednictvím pinu MOSI lze v režimu Master nastavit pin jako výstupní, v režimu Slave jako vstupní a lze také nastavit, zda se jedná o obousměrnou komunikaci po jednom vodiči či pouze jednosměrnou komunikaci. Pin MISO má podobné vlastnosti, akorát v opačném provedení. Čili, když je SPI v režimu Master, je tento pin nastaven jako vstupní a když v režimu Slave, je nastaven jako výstupní.

Bitů v registru SPIxCI se nastavuje povolení řízení, povolení přerušení a konfigurace nastavení. Registr je osmi bitový a například nultým bitem LSBFE registru SPIxCI se nastavuje, zda se data posílají od nejvyššího či nejnižšího bitu. Pokud je LSBFE = 0, přenos dat začíná nejvýznamnějším bitem, pokud je LSBFE = 1, přenos dat začíná nejméně významným bitem. V programovacím prostředí CodeWarrior se jednotlivé bity registrů různých periférií nastavují v grafickém prostředí zvaném Processor Expert. Následně stačí pouze vygenerovat kód a registry jsou nastaveny.[25]

3.2.3 RF přijímač SI 4313

Pro přijímání dat byl zvolen RF přijímač SI 4313 od firmy Silicon Laboratories, který je firmou doporučován pro použití v automobilovém průmyslu. Přijímač je zapouzdřen do 20 pinového QFN pouzdra, které je znázorněno na obr.: 3.10. Hlavní použití přijímače je ve finančně nenáročných bateriových aplikacích. Zde jsou uvedené některé základní

parametry RF přijímače SI 4313:

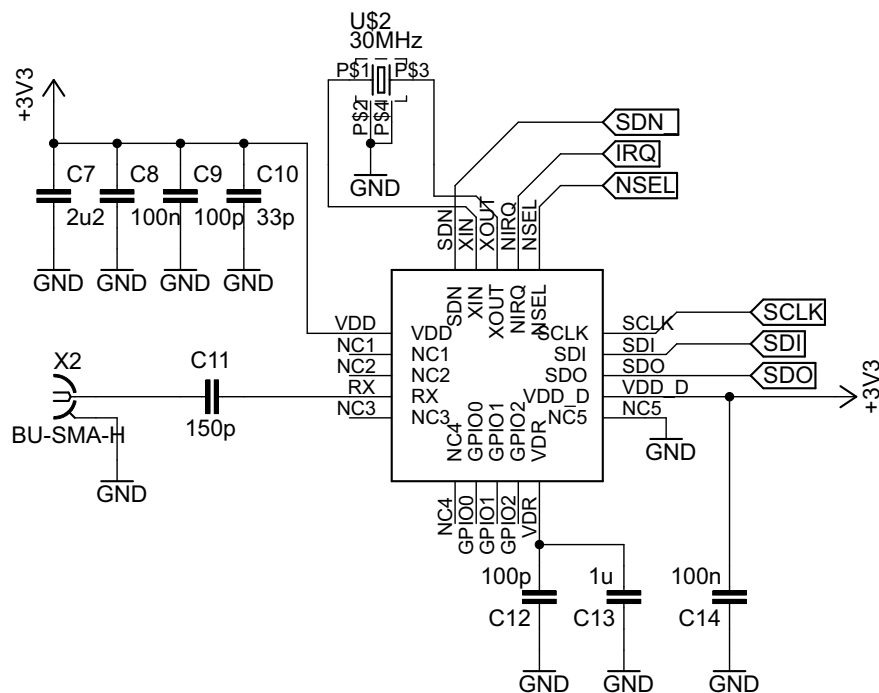
- frekvenční rozsah je od 240 MHz do 960 MHz,
- nízká spotřeba energie,
- nastavitelná rychlost přenosu dat od 0.2 až 128 kb/s,
- FSK, GFSK a OOK modulace,
- napájecí napětí v rozmezí 1.8 V až 3.6 V,
- velmi nízká spotřeba energie ve vypnutém režimu,
- časovač pro probuzení přijímače,
- FIFO paměť o velikosti 64 byte,
- rozsah pracovních teplot od -40°C do $+85^{\circ}\text{C}$,
- přizpůsobení antény prostřednictvím jednoho kondenzátoru.



Obrázek 3.10: Pouzdro RF přijímače SI 4313[26]

Tento přijímač je také vhodný pro aplikace typu vzdálené řízení, záznam osobních dat, monitorování ve zdravotnictví nebo meteorologická stanice. Schéma zapojení RF přijímače je na obr.: 3.11. Přijímač opět pracuje v bezlicenčním ISM pásmu v již zmíněném rozsahu 240 MHz až 960 MHz. Přijatá data jsou přijímačem demodulována a zapisována do FIFO paměti. Odtud se mohou poslat prostřednictvím programovatelných obecně použitelných pinů nebo prostřednictvím standardní SPI sběrnice. Hodinové pulzy lokálního oscilátoru LO jsou generovány za pomoci napěťově řízeného oscilátoru VCO a fázového závěsu PPL. Závěs je určen pro podporu nastavení rychlosti přenosu dat. Přijímač je navržen tak, aby dokázal pracovat v nízko nákladové aplikaci za použití mikrokontroléru, vnějšího krystalu a několika pasivních součástek. Z tohoto důvodu je možné přizpůsobení přijímací antény pouze jedním kondenzátorem. S mikrokontrolérem přijímač komunikuje přes SPI sběrnici.

RF přijímač SI 4313 nabízí několik pracovních režimů (režim vypnutí, pohotovostní režim, režim spánku, režim snímače, režim připravení, režim ladění a režim příjmu). Režimy jsou seřazeny vzestupně dle spotřeby energie. Přepínáním mezi jednotlivými režimy se dá efektivně řídit spotřeba energie. V každém režimu jsou zapnuté určité bloky přijímače. Spotřeba přijímače napříč všemi pracovními režimy se pohybuje od 15 nA do 18.5 mA. Mezi režimy nelze libovolně přeskakovat. Z režimu vypnutí do režimu příjmu a naopak



Obrázek 3.11: Schéma zapojení RF přijímače

nelze přepnout přímo, ale přechod musí vést přes některý z ostatních režimů, nacházejícího se mezi zmíněnými režimy.

Při komunikaci přes SPI sběrnici se jednotlivé bity odesílají s náběžnou hranou hodinového signálu SCLK. Jako první je posílán bit, který říká, zda se jedná o zápis či čtení dat. Tento bit je také nejvýznamnějším bitem přenosu. Následuje šest bitů adresy a sedm bitů dat. Při přenosu musí být signál nSEL uveden do aktivní úrovně. Aktivní úrovní signálu nSEL je myšlena logická 0. Rychlost hodinových impulzů je nastavitelná a dosahuje maximální hodnoty 10 MHz.

Typ modulace signálu se nastavuje v registru 71h pomocí dvou dolních bitů modtyp[1:0]. Vhodnou kombinací těchto bitů lze vybrat modulaci GFSK, FSK a OOK. Různé kombinace bitů modtyp[1:0] a jim odpovídající typ modulace zachycuje tabulka 3.1. Pro účely této práce byla zvolena modulace OOK.[26]

Tabulka 3.1: Výběr modulace[26]

modtyp[1:0]	zdroj modulace
00	rezervováno
01	OOK
10	FSK
11	GFSK

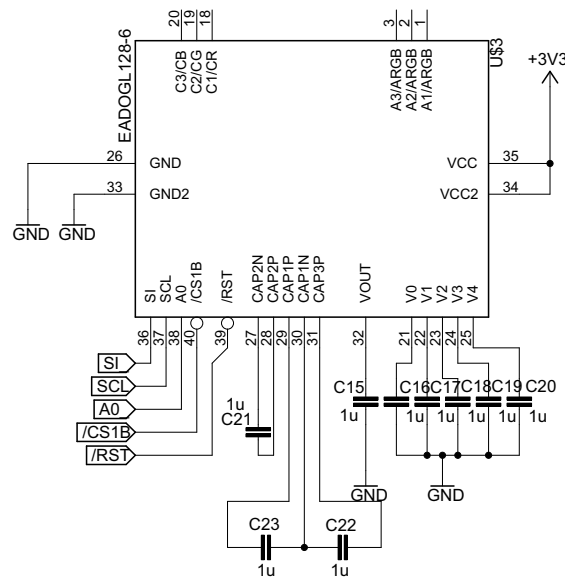
3.2.4 Displej EA-DOGL128-6

Pro zobrazování změřených dat byl zvolen displej EA-DOGL128-6 GRAPHIC. Grafická podoba displeje je znázorněna na obr.: 3.12. Displej má rozsah napájecího napětí od 3 V do 3.3 V s typickým proudovým odběrem 320 μ A. Rozlišení displeje je 128 x 64 bodů



Obrázek 3.12: Ukázka displejů EA-DOGL128-6[27]

a velikost jednoho bodu je $15 \mu\text{m}$. Rozsah pracovních teplot se pohybuje od -20°C do $+70^\circ\text{C}$. Komunikaci s mikrokontrolérem zprostředkovává SPI sběrnice. K displeji je možno přidat externí LED podsvícení. Schéma zapojení displeje EA-DOGL128-6 je na obr.: 3.13. Jak lze vyvozovat z obrázku, zapojení displeje není nikterak složité. Pro správnou funkci



Obrázek 3.13: Schéma zapojení displeje EA-DOGL128-6

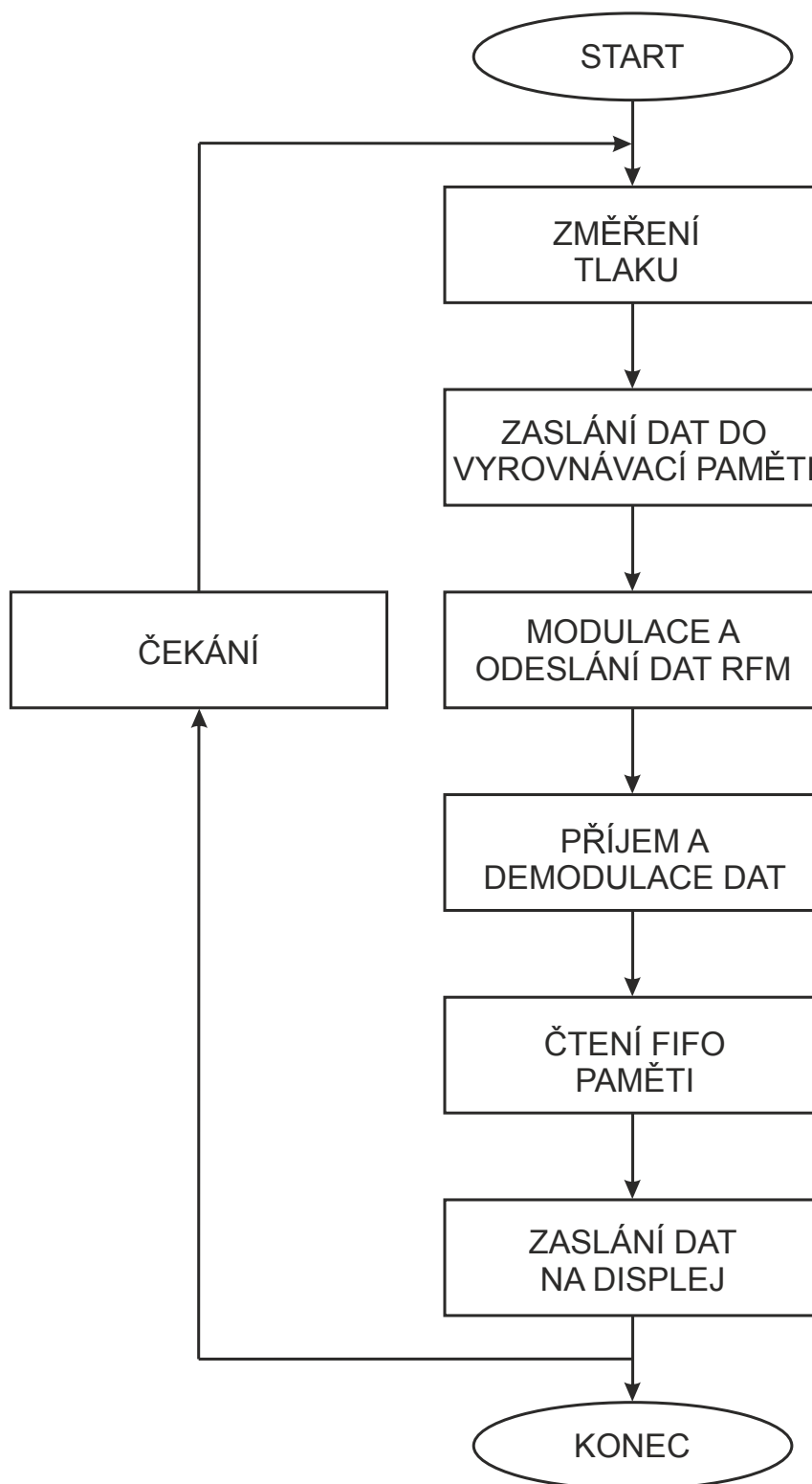
displeje stačí přidat devět externích kondenzátorů a zapojit vodiče pro SPI komunikaci s mikrokontrolérem. Komunikace displeje s mikrokontrolérem je jednosměrná ve směru mikrokontrolér \rightarrow displej. Signálem CS1B je displej vybírán. Signál je aktivní v logické 0. Signál RST je také aktivní v logické 0 a pomocí tohoto signálu se displej resetuje. Signál A0 určuje, zda se budou posílat data nebo příkazy. Je-li $A0 = 0$, budou se posílat příkazy, je-li signál $A0 = 1$, budou se posílat data. Signálem SCL se posílají do displeje hodinové impulzy a signálem SI jsou na displej posílána data. Data jsou na displej posílána s náběžnou hranou hodinových pulzů.

Pro nastavení určitých parametrů displeje existuje tzv. tabulka programovacích příkazů, která je dostupná v katalogovém listu. Podle této tabulky se nastavuje zapínání - vypínání displeje, kontrast displeje, zapnutí všech bodů na displeji a mnoho dalších.[27]

3.3 Program

3.3.1 Vývojový diagram

Zjednodušené blokové schéma vývojového diagramu je na obr.: 3.14.



Obrázek 3.14: Zjednodušené schéma vývojového diagramu

3.3.2 Program přijímače

Nejprve bylo nutné nastavit konfigurační registr SPI1C1, konkrétně bity nastavující polaritu hodinového signálu CPOL, bit nastavující vzorkovací hranu hodin CPHA a bity pro nastavení před-děličky hodinového signálu, která je nastavena na hodnotu 128, která odpovídá frekvenci 62.5 kHz. Dále byla poslána přes SPI sběrnici inicializační sekvence pro inicializaci displeje. Pro tyto potřeby byla naspána funkce, která má za úkol poslat na displej příkazy z inicializační tabulky, smazat celý displej a nakonec vykreslit obrys automobilu. Tato funkce je znázorněna na obr.: 3.15. Nejprve je signál CS1B a RST

```
void disp_init(void)
{
    byte page = 0, pom1 =0;
    CS01B_OFF;
    UNRESET_DOGL;
    wait_ms(15);
    RESET_DOGL;
    wait_ms(15);
    UNRESET_DOGL;
    wait_ms (1);

    A0_COMMAND;
    SPI_data_out_display(0x40);
    SPI_data_out_display(0xa1);
    SPI_data_out_display(0xc0);
    SPI_data_out_display(0xa6);
    SPI_data_out_display(0xa2);
    SPI_data_out_display(0x2f);
    SPI_data_out_display(0xf8);
    SPI_data_out_display(0x00);
    SPI_data_out_display(0x27);
    SPI_data_out_display(0x81);
    SPI_data_out_display(0x10);
    SPI_data_out_display(0xac);
    SPI_data_out_display(0x01);
    SPI_data_out_display(0xaf);

    for (page=0;page<=7;page++)
    {
        A0_COMMAND;
        SPI_data_out_display(page | 0xb0);
        set_column_adress(0);
        A0_DATA;
        for (pom1=0;pom1<=127;pom1++)
        {
            SPI_data_out_display(0x00);
        }
    }
    for (page=2;page < 6;page++)
    {
        A0_COMMAND;
        SPI_data_out_display(page | 0xb0);
        set_column_adress(0x1a);
        A0_DATA;
        for (pom1=0;pom1<=71;pom1++)
        {
            SPI_data_out_display(car[(page-2)*71+pom1]);
        }
    }
    disp_kpa();
}
```

Obrázek 3.15: Funkce pro inicializaci displeje

uveden do neaktivní úrovně. Dále je displej resetován, přičemž čeká 15 ms, po nichž je signál RST opět uveden do neaktivní úrovně. Posléze se čeká pouze 1 ms, než se začnou posílat inicializační příkazy z tabulky, která je dostupná v katalogovém listu. Před samotným zasláním příkazů je nezbytné nastavit signál A0 do logické 0, který říká, že budou posílány příkazy. Po inicializaci se na displeji náhodně zapnou některé pixely. Následuje složený *for* cyklus pro vymazání displeje. První cyklus *for* prochází všech osm stránek displeje a druhý cyklus *for* prochází řádky v jednotlivých stránkách, kterých je 128 a zapisuje do nich 0. Druhý složený *for* cyklus na displej vykresluje obsah pole *car*. Pole je v samostatném hlavičkovém souboru a je v něm vyobrazen obrys automobilu. Toto pole bylo nutno ručně vytvořit. Princip druhého složeného cyklu *for* je stejný jako u prvního s rozdílem, že do jednotlivých pixelů nejsou zapisovány 0, ale hodnoty z pole *car* a také, že je zapisováno pouze do čtyř stránek a 71 řádků. Voláním funkce *disp_kpa()* se docílí zobrazení jednotky kPa u každého kola automobilu.[27]

Po inicializaci displeje byl inicializován přijímač SI 4313. Jako první byla nastavena SPI komunikace pro potřeby komunikace mikrokontrolér → přijímač a naopak. Pro nastavení registrů přijímače slouží program Wireless Development Suite (WDS) calculator. V tomto programu se pomocí grafického prostředí patřičně nastaví požadované registry a program vygeneruje příslušný hlavičkový soubor, ve kterém se nacházejí definované hodnoty registrů. Poté byla vytvořena funkce pro inicializaci přijímače, ve které jsou tyto hodnoty odesílány do příslušných registrů. Přijatá data se shromažďují v paměti FIFO. Paměť má velikost 64 byte a v registru *FIFO Almost Full Threshold* je možno pomocí bytů *rxafthr*[5 : 0] libovolně nastavit hladinu FIFO paměti, při které je vygenerováno přerušování tak, že na pin IRQ mikrokontroléru je zaspána logická 0. V tento okamžik se vykoná funkce, která má za úkol přečíst obsah FIFO paměti a tento obsah dále poslat na displej.[26]

3.3.3 Program vysílače

Pro usnadnění práce, ale především pro větší přesnost měření, výrobce doporučuje pro měření tlaku, teploty, zrychlení a napětí baterie používat již vytvořené rutiny, které se nacházejí ve spodních adresách FLASH paměti. K této potřebě jsou již při vytvoření projektu v programovacím prostředí CodeWarrior v jednom z hlavičkových souborů ve skokové tabulce definovány všechny adresy skoků na funkce, které slouží pro práci s výše zmíněnými rutinami. Některé v programu využití rutiny jsou k nahlédnutí v tabulce 3.2. Zavoláním rutiny *TPMS_RESET* dojde k resetování celého zařízení. Rutiny

Tabulka 3.2: Některé rutiny dostupné v MPXY8600[31]

Adresa	Rutina
<i>E000</i>	<i>TPMS_RESET</i>
<i>E003</i>	<i>TPMS_READ_VOLTAGE</i>
<i>E009</i>	<i>TPMS_READ_TEMPERATURE</i>
<i>E00F</i>	<i>TPMS_READ_PRESSURE</i>
<i>E012</i>	<i>TPMS_COMP_PRESSURE</i>

TPMS_READ_VOLTAGE, *TPMS_READ_TEMPERATURE* a *TPMS_READ_PRESSURE* slouží pro čtení „syrových“ dat z A/D převodníku. Tato data jsou ukládána do Universal Uncompensated Measurement Array (UUMMA), která se nachází

v RAM paměti. Poté je zavolána rutina *TPMS_COMP_PRESSURE*, která na základě obsahu UMMA tato data upravuje pro zobrazení. Výsledkem jsou data o stavu tlaku, teploty a napětí baterie, která jsou připravena k přenosu. Pro vyslání dat je důležité správné nastavení vysílacího RF modulu (RFM). Nastavit se musí zejména způsob kódování, v tomto případě je nastaveno kódování Manchester. Je nutno nastavit nosnou frekvenci na 434 MHz pomocí řídicího bitu $CF = 1$. Dále je nastaven typ modulace jako modulace OOK a pomocí bitů $PWR[4:0]$ je nastaven výstupní výkon. Výchozí hodnota výstupního výkonu činí -10 dBm. Funkce pro nastavení RFM a funkce pro vyslání RF datagramu byly převzaty z uživatelského průvodce.[33]

Závěr

Cílem diplomové práce bylo prostudování problematiky bezdrátového měření veličin a návrh a realizace bezdrátového senzoru tlaku.

Problematika bezdrátového měření veličin, potažmo bezdrátový přenos dat byl v práci popsán. Je zde probrán obecný přenosový řetězec a hlavně druhy modulací, které jsou nedílnou součástí bezdrátového přenosu dat. Hlavní důraz při bezdrátovém přenosu dat je vždy kladen na správně zvolený typ přenosu pro danou problematiku.

Bezdrátový senzor tlaku byl navržen v programu EAGLE. Navržené zařízení se skládá ze dvou částí. Z vysílací a přijímací části. Jelikož bylo celé zařízení koncipováno pro použití v automobilovém průmyslu, byl jako senzor tlaku vybrán integrovaný obvod od firmy Freescale Semiconductor MPXY8600DK6T1. Při návrhu vysílací části se vyskytly určité problémy. Jedním z problémů bylo provedení vysílací antény vzhledem ke kladenému důrazu na miniaturizaci zařízení. Problém byl vyřešen vyvedením antény z DPS pomocí kovového pásku, který je následně připevněn k ventilku. Druhým problémem bylo uchycení senzoru v prostoru pneumatiky. Senzor bude uchycen prostřednictvím ventilku, ke kterému je připevněno pouzdro nesoucí senzor. Pouzdro bylo navrženo v programu SolidWorks a zhotoveno na 3D tiskárně. Při návrhu přijímací části bylo nutné rozhodnout jakým způsobem bude zařízení napájeno. Bylo rozhodnuto pro napájení prostřednictvím zapalovacího konektoru ve středovém panelu automobilu. Jelikož v tomto konektoru není stabilní hodnota napětí (jako v celé palubní síti automobilu), musel být na tuto skutečnost brán ohled při návrhu DC/DC měniče, který snižuje hodnotu napájecího napětí pro další komponenty zapojení.

Při programování přijímací části se vyskytly problémy při nastavení komunikace po SPI sběrnici. Jedním z nich bylo to, že signál CS1B byl vypínán dříve, než byla odeslána data na displej. Další problém činilo, že RF modul potřebuje pro komunikaci s mikrokontrolérem jiné nastavení SPI sběrnice (RF modul reaguje na jinou polaritu hodinového signálu). Vzhledem k tomu se při každé komunikaci s RF modulem musela měnit hodnota registru SPI1C1. Oba tyto problémy se podařilo vyřešit a přijímací část je ve stavu čekání na příjem dat od druhé části.

Rozsáhlejší problémy nastaly při programování druhé části systému. I když jsou v dokumentaci přehledně popsány rutiny a jejich adresy, tak z praktického hlediska se nepodařilo tyto rutiny zprovoznit (rutiny jsou uloženy v nepřístupné části FLASH paměti). Při „debugování“ programu hlásilo programovací prostředí chybu v nenalezení zdroje, na který odkazují příslušné adresy rutin. Další problém vykazovalo samotné programovací prostředí CodeWarrior, které opět při „debugování“ programu ukončovalo komunikaci s programátorem. Toto se dělo jen když byly v programu volány výše zmiňované rutiny z nepřístupné části FLASH paměti. Tyto dvě překážky se bohužel nepodařilo vyřešit.

Použitá literatura

- [1] ŽALUD, Václav. Moderní radioelektronika. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000, 653 s. ISBN 80-86056-47-3.
- [2] PROCHÁZKA, Miroslav. Antény: encyklopedická příručka. 3., rozš. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 383 s. ISBN 80-7300-166-7.
- [3] SVOBODA, Jaroslav. Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro odborná učiliště a střední školy. 2. vyd. Praha: Sdělovací technika, 2000, 137 s. Telekomunikace (Sdělovací technika). ISBN 80-901936-3-3.
- [4] PATKA, Lukáš. Bezdrátové sítě. In: [online]. 2007 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: [http : //www.fi.muni.cz/usr/brandejs/PV005/Bezdratove_site_patka.pdf](http://www.fi.muni.cz/usr/brandejs/PV005/Bezdratove_site_patka.pdf)
- [5] Využití rádiového spektra (Beta verze). Český telekomunikační úřad [online]. 2015 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: [http : //spektrum.ctu.cz/](http://spektrum.ctu.cz/)
- [6] PETROVIČ, Michal a Martin ŠIMEK. Bezdrátové sítě. V Plzni: Západočeská univerzita, 2013, vi, ii, 276 s. ISBN 978-80-261-0225-0.
- [7] PETERKA, Jiří. Báječný svět počítačových sítí: Část XXIV: Wi-Fi [online]. 2007 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: [http : //www.earchiv.cz/b07/b0400001.php3](http://www.earchiv.cz/b07/b0400001.php3)
- [8] TheBestWirelessInternet. BARTOLIC. [online]. 2014 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: [http : //thebestwirelessinternet.com/what-is-wifi.html](http://thebestwirelessinternet.com/what-is-wifi.html)
- [9] *Mobilenet.cz*: Techbox: Bluetooth sjednotilo bezdrátovou komunikaci. ŠKOPEK, Pavel. [online]. 2013 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http : //mobilenet.cz/clanky/techbox-bluetooth-sjednotilo-bezdratovou-komunikaci-12085](http://mobilenet.cz/clanky/techbox-bluetooth-sjednotilo-bezdratovou-komunikaci-12085)
- [10] FREISLEBEN, Jaroslav. Dálkové ovládání RC modelu pomocí bezdrátového ovladače. Plzeň, 2010. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [11] SVOBODA, Jiří. Principy a perspektivy technologie Bluetooth [online]. 2004 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http : //www.jirkasvoboda.com/publikace/publikace1.pdf](http://www.jirkasvoboda.com/publikace/publikace1.pdf)
- [12] Welcome to Bluetooth Technology 101: A brief tutorial on Bluetooth wireless technology [online]. 2015 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http : //www.bluetooth.com/Pages/Fast-Facts.aspx](http://www.bluetooth.com/Pages/Fast-Facts.aspx)
- [13] Základy technologie Bluetooth: původ a rozsah funkcí [online]. 2009 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http : //pcworld.cz/hardware/Zaklady-technologie-Bluetooth-puvod-a-rozsah-funkci-6635](http://pcworld.cz/hardware/Zaklady-technologie-Bluetooth-puvod-a-rozsah-funkci-6635)
- [14] Bluetooth. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http : //cs.wikipedia.org/wiki/Bluetooth](http://cs.wikipedia.org/wiki/Bluetooth)
- [15] BUREŠ, David. Od listopadu musí každý automobil hlídat tlak v pneumatikách. Povinně!. In: AUTO.CZ [online]. 2014 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http : //www.auto.cz/od-listopadu-musi-kazdy-automobil-hlidat-tlak-v-pneumatikach-povinne-83686](http://www.auto.cz/od-listopadu-musi-kazdy-automobil-hlidat-tlak-v-pneumatikach-povinne-83686)

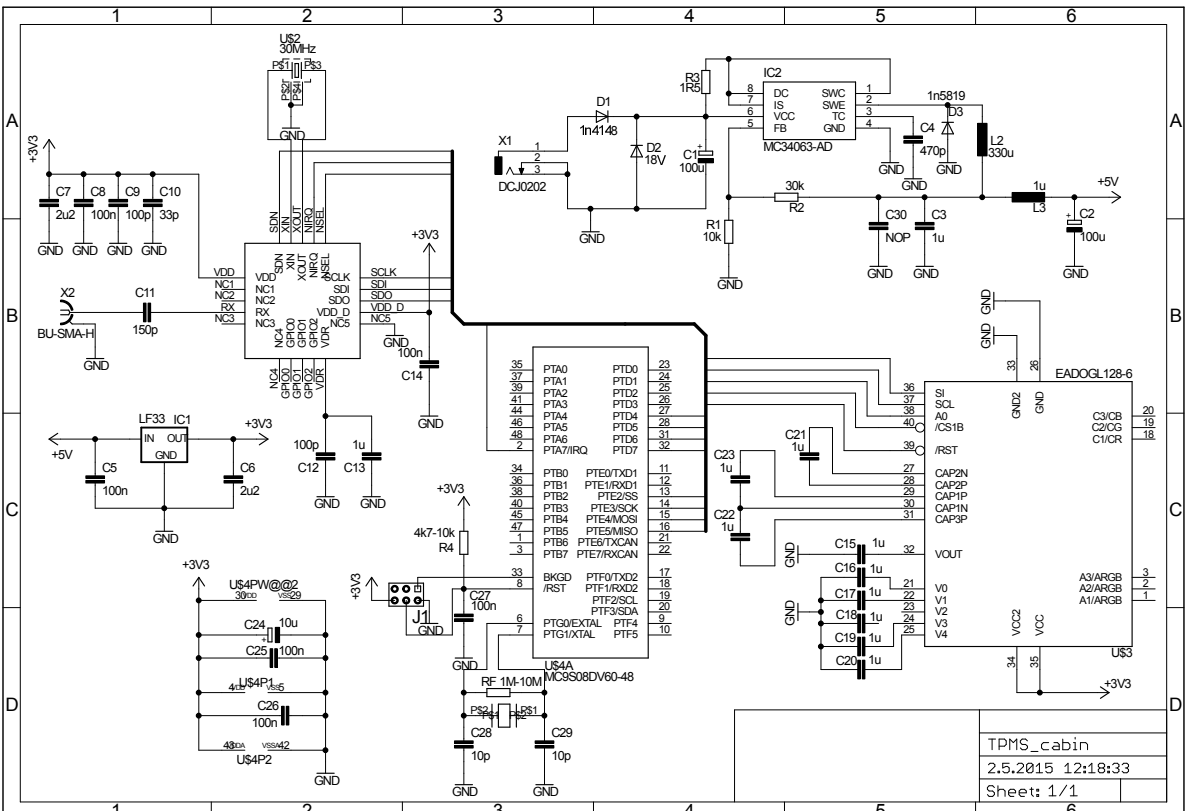
- [16] VALSKÝ, Tomáš. Povinná kontrola tlaku v pneumatikách - TPMS. In: Pneumatiky.cz [online]. 2014 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: [http : //www.pneumatiky.cz/info/povinna - kontrola - tlaku - v - pneumatikach - tpms.html](http://www.pneumatiky.cz/info/povinna-kontrola-tlaku-v-pneumatikach-tpms.html)
- [17] Tire Pressure Monitoring Systems. In: THE CLEMSON UNIVERSITY VEHICULAR ELECTRONICS LABORATORY [online]. 2014 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: [http : //www.cvel.clemson.edu/auto/systems/tpms.html](http://www.cvel.clemson.edu/auto/systems/tpms.html)
- [18] MARKEL, Andrew. Common TPMS Service Questions and Answers. In: TIRE REVIEW [online]. 2012 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: [http : //www.tirereview.com/common - tpms - service - questions - and - answers/](http://www.tirereview.com/common-tpms-service-questions-and-answers/)
- [19] VŠE O TPMS. In: TPMS-EXPERT.CZ [online]. 2013 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: [http : //www.tpms - expert.cz/co - je - to - tpms](http://www.tpms-expert.cz/co-je-to-tpms)
- [20] PHILLIPS, Sean. Achey Breakey Parts: TPMS And Corrosion. In: About.com [online]. 2015 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: [http : //tires.about.com/od/Tire_Safety_Maintenance/a/Achey - Breakey - Parts - Tpms - And - Corrosion.htm](http://tires.about.com/od/Tire_Safety_Maintenance/a/Achey-Breakey-Parts-Tpms-And-Corrosion.htm)
- [21] Wireless TPMS Retrofit Kits. RiCCO: TPMS all-in-one function [online]. 2015 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: [http : //ricco - tech.com/?page_id = 103](http://ricco-tech.com/?page_id=103)
- [22] ON SEMICONDUCTOR. MC34063A, MC33063A, SC34063A, SC33063A, NCV33063A: 1.5 A, Step-Up/Down/ Inverting Switching Regulators [online]. 2010 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: [http : //www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC34063A - D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC34063A-D.PDF)
- [23] STMICROELECTRONICS. 2015. LFX: Very low drop voltage regulator with inhibit function [online]. Dostupné z: [http : //www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000546.pdf](http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000546.pdf)
- [24] TAOGLAS. Specification: TI.10.0112 [online]. [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: [http : //www.taoglas.com/images/product_images/original_images/TI.10.0112%20433MHZ%20RA%20Connector%20Mount%20Antenna%20240110.pdf](http://www.taoglas.com/images/product_images/original_images/TI.10.0112%20433MHZ%20RA%20Connector%20Mount%20Antenna%20240110.pdf)
- [25] FREESCALE SEMICONDUCTOR. MC9S08DZ128, MC9S08DZ96, MC9S08DV128, MC9S08DV96 [online]. 2008 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: [http : //cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08DZ128.pdf](http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08DZ128.pdf)
- [26] SILICON LABORATORIES. Si4313-B1: Si4313 LOW-COST ISM RECEIVER [online]. 2011 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: [https : //www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Si4313.pdf](https://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Si4313.pdf)
- [27] ELECTRONIC ASSEMBLY. EA DOGL128-6 GRAPHIC [online]. 2012 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: [http : //www.lcd - module.com/eng/pdf/grafik/dogl128 - 6e.pdf](http://www.lcd-module.com/eng/pdf/grafik/dogl128-6e.pdf)
- [28] Náhradní ventilek ke kontrole tlaku v pneumatikách. PROCAR-SHOP.CZ [online]. 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: [http : //www.procarshop.cz/procarshop/eshop/3 - 1 - Autotechnika/1394 - 2 - Kontrola - tlaku - v - pneu/5/9047 - Nahradni - ventilek - ke - kontrola - tlaku - v - pneumatikach](http://www.procarshop.cz/procarshop/eshop/3-1-Autotechnika/1394-2-Kontrola-tlaku-v-pneu/5/9047-Nahradni-ventilek-ke-kontrola-tlaku-v-pneumatikach)
- [29] Freescale rolls smallest TPMS module. EETimes [online]. 2012 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: [http : //www.electronics - eetimes.com/en/freescale - rolls - smallest - tpms - module.html?cmp_id = 7&news_id = 222922739](http://www.electronics-eetimes.com/en/freescale-rolls-smallest-tpms-module.html?cmp_id=7&news_id=222922739)

- [30] FREESCALE SEMICONDUCTOR. FXTH871x6 Tire Pressure Monitor Sensor [online]. 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: [http :
//www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code = FXTH87](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=FXTH87)
- [31] FREESCALE SEMICONDUCTOR. Xtrinsic MPXx85/86xxD Tire Pressure Monitor Sensor [online]. 2013 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: [http :
//www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code = MPXx8xxx](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MPXx8xxx)
- [32] FREESCALE SEMICONDUCTOR. 2014. FXTH87xx02 Embedded Firmware User Guide [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: [http :
//cache.freescale.com/files/sensors/doc/user_guide/FXTH87xx02FWUG.pdf](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/user_guide/FXTH87xx02FWUG.pdf)
- [33] FREESCALE SEMICONDUCTOR. 2014. Xtrinsic FXTH87 Family Evaluation Design Reference Manual [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: [http :
//cache.freescale.com/files/sensors/doc/ref_manual/FXTH87EDRM.pdf](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/ref_manual/FXTH87EDRM.pdf)
- [34] FREESCALE SEMICONDUCTOR. 2014. Interfacing to Freescale's FXTH87xx In-Flash Firmware Routines Using C-language Constructors [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: [http :
//cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN4277.pdf](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN4277.pdf)

Prilohy

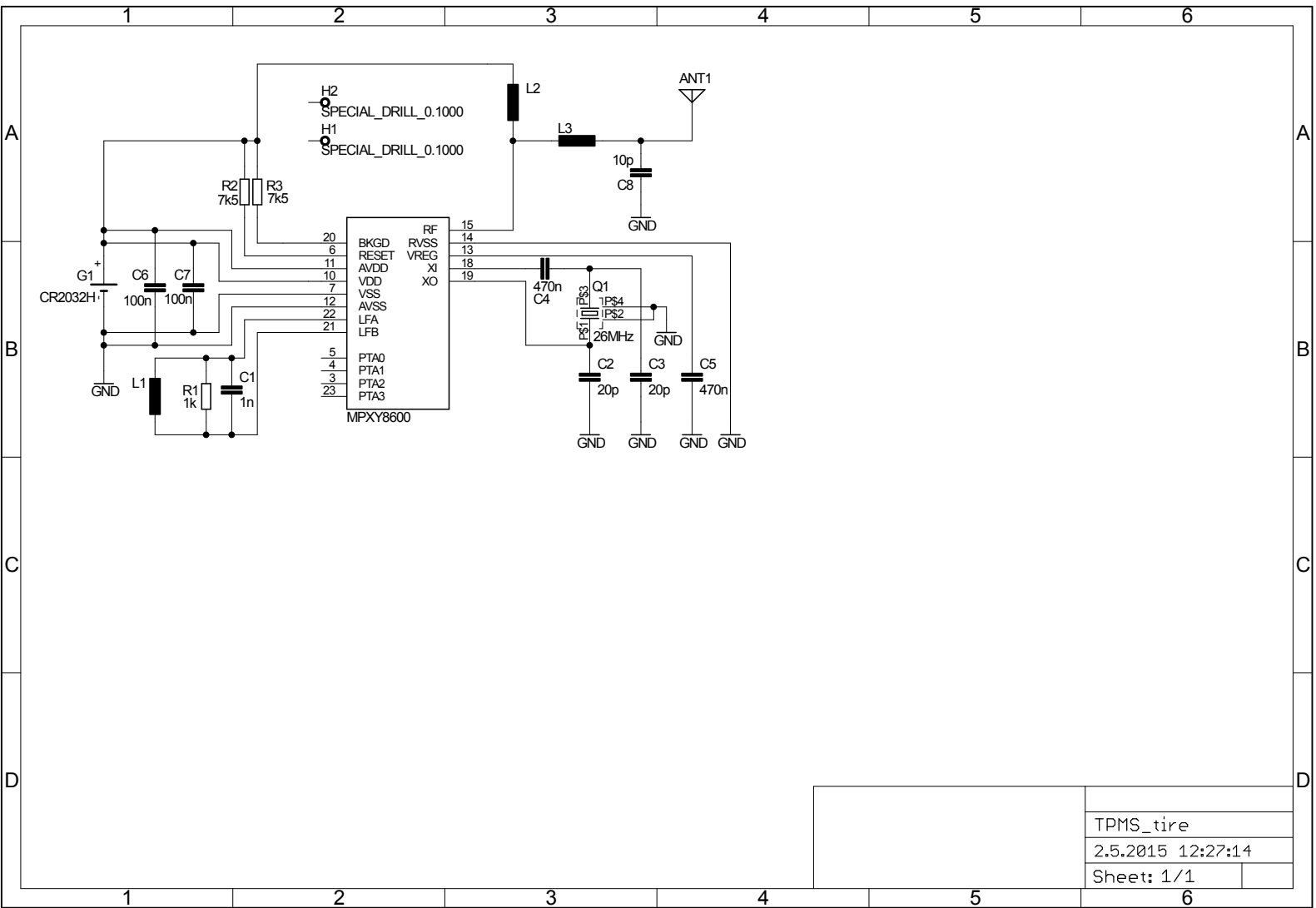
A Schémata

A1 Schéma zapojení přijímací části TPMS



Priloha A1: Schéma zapojení přijímací části TPMS

A2 Schéma zapojení vysílací části TPMS

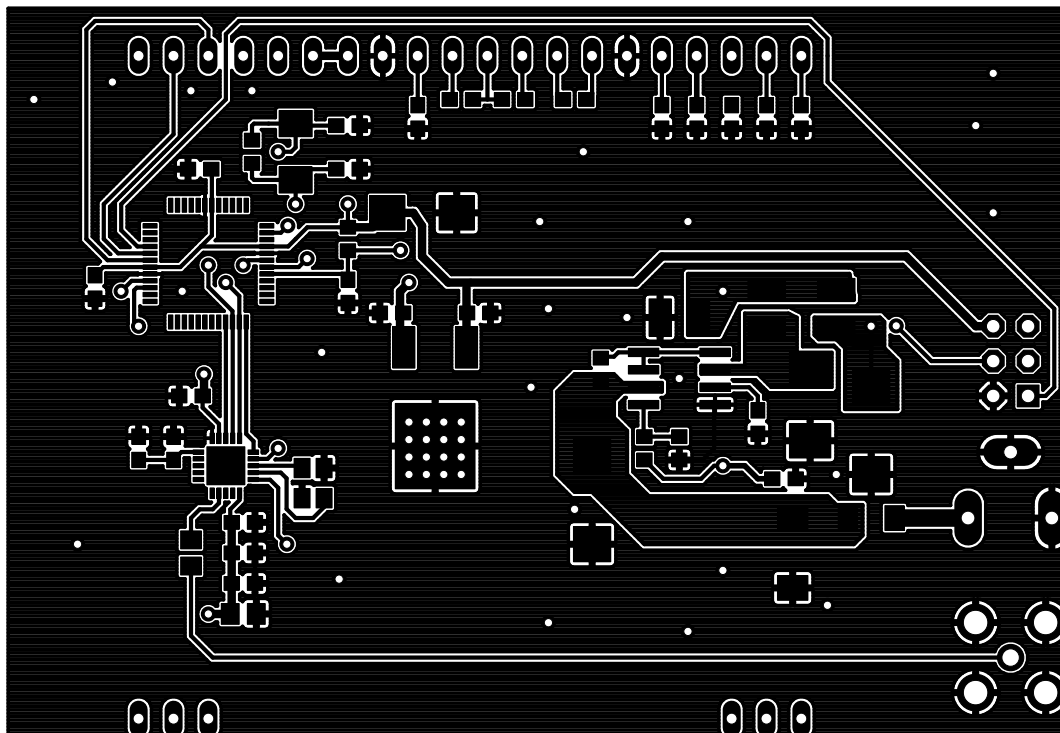


Príloha A2: Schéma zapojení vysílací části TPMS

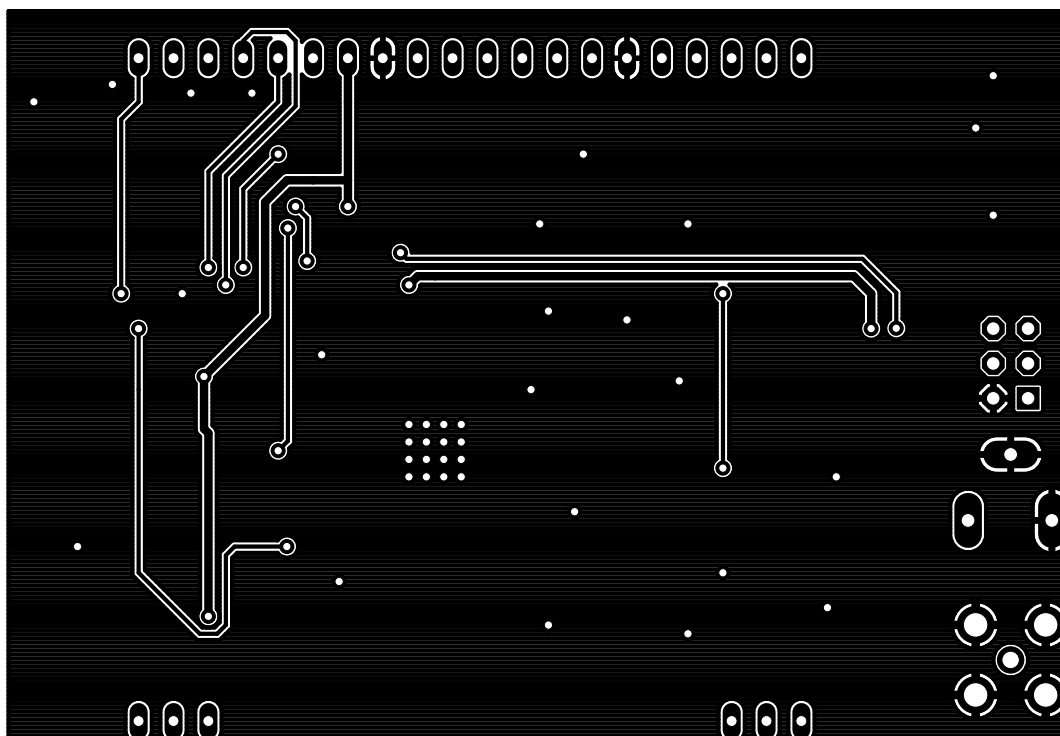
TPMS_tire
2.5.2015 12:27:14
Sheet: 1/1

B DPS

B1 DPS přijímací části TPMS

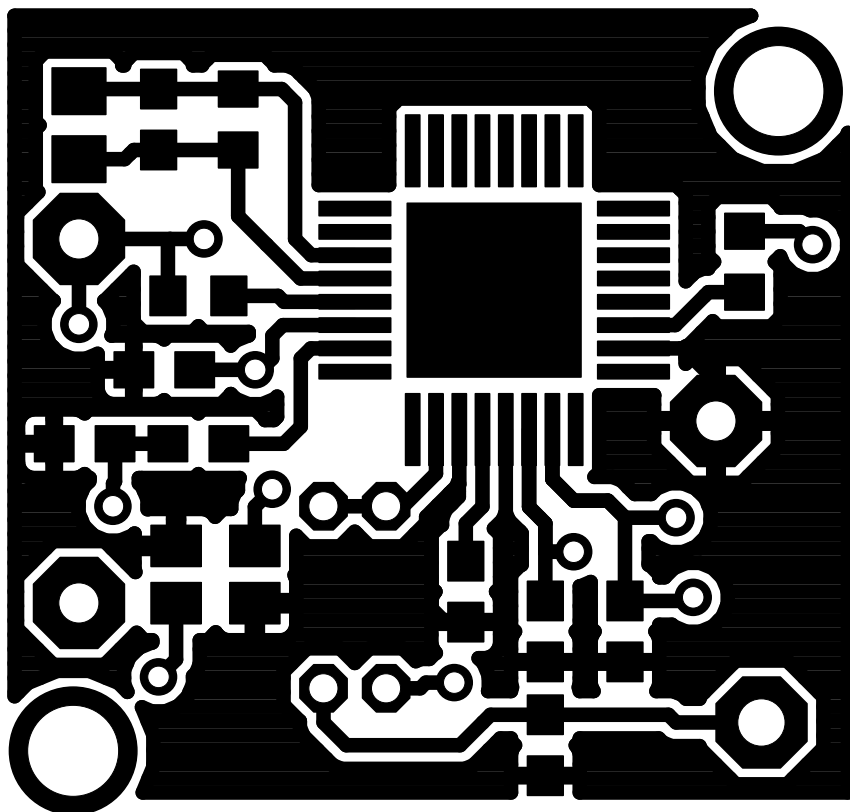


Příloha B1.1: DPS vysílací části TPMS ze strany spojů

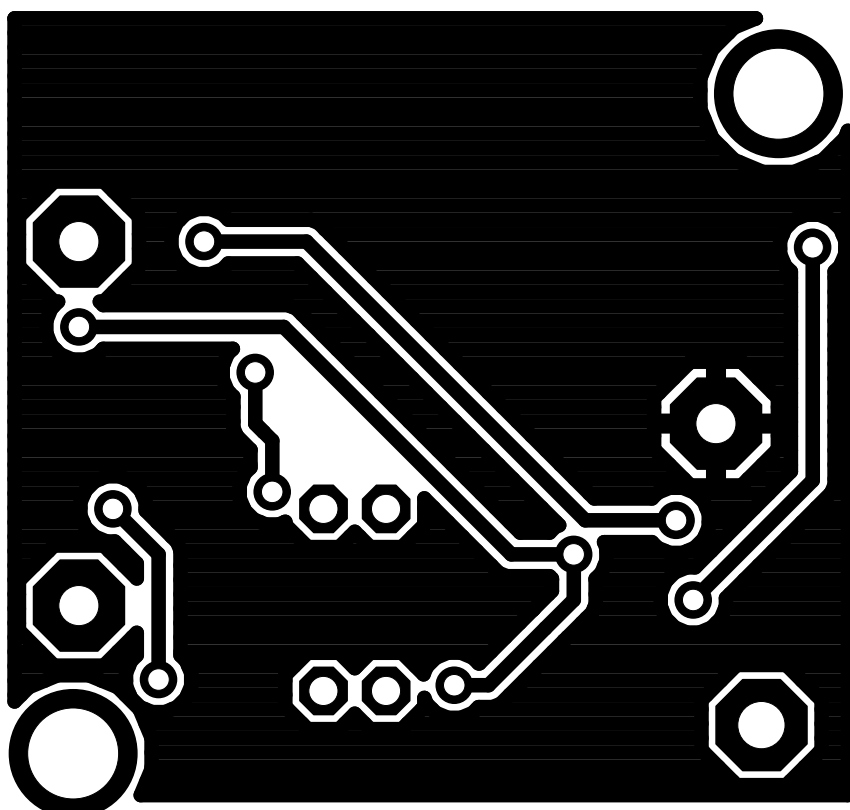


Příloha B1.2: DPS vysílací části TPMS ze strany součástek

B2 DPS vysílací části TPMS

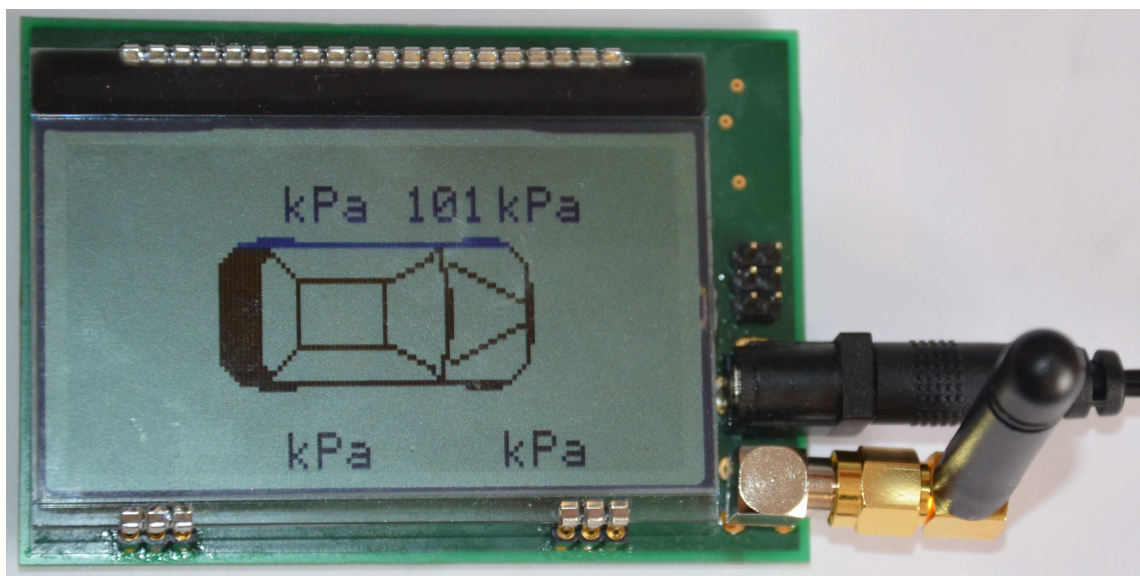


Příloha B2.1: DPS přijímací části TPMS ze strany spojů

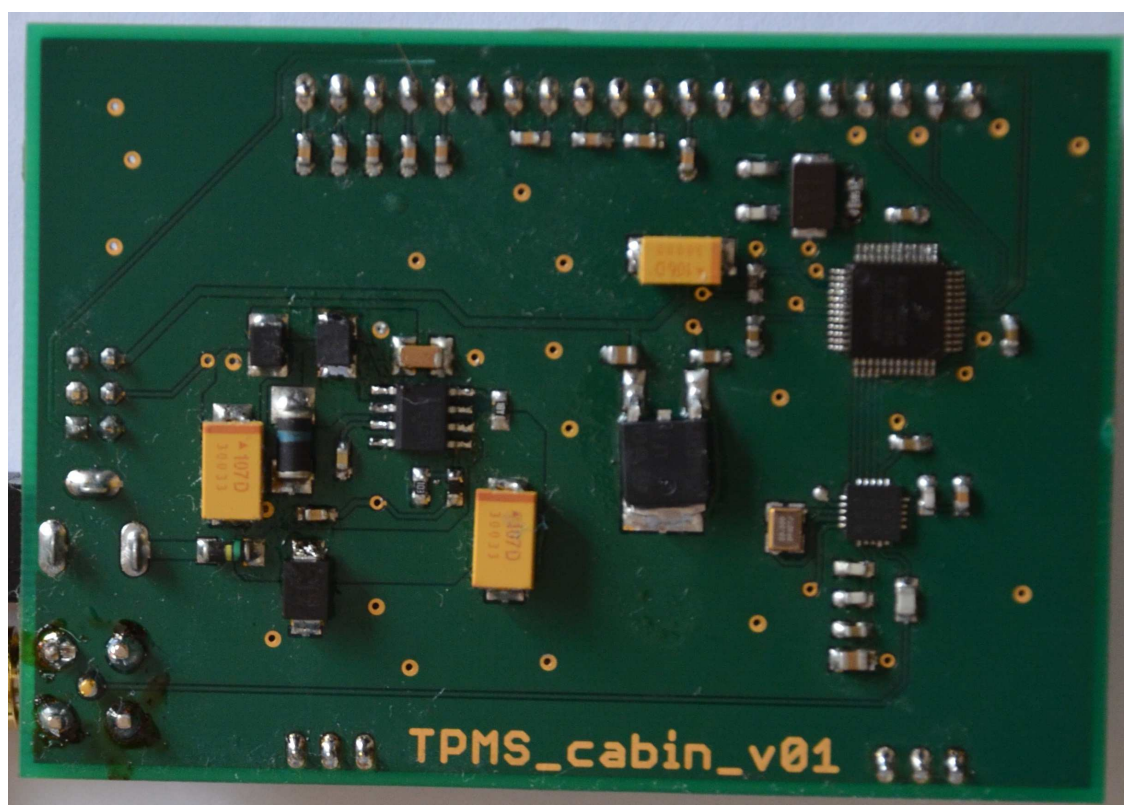


Příloha B2.2: DPS přijímací části TPMS ze strany součástek

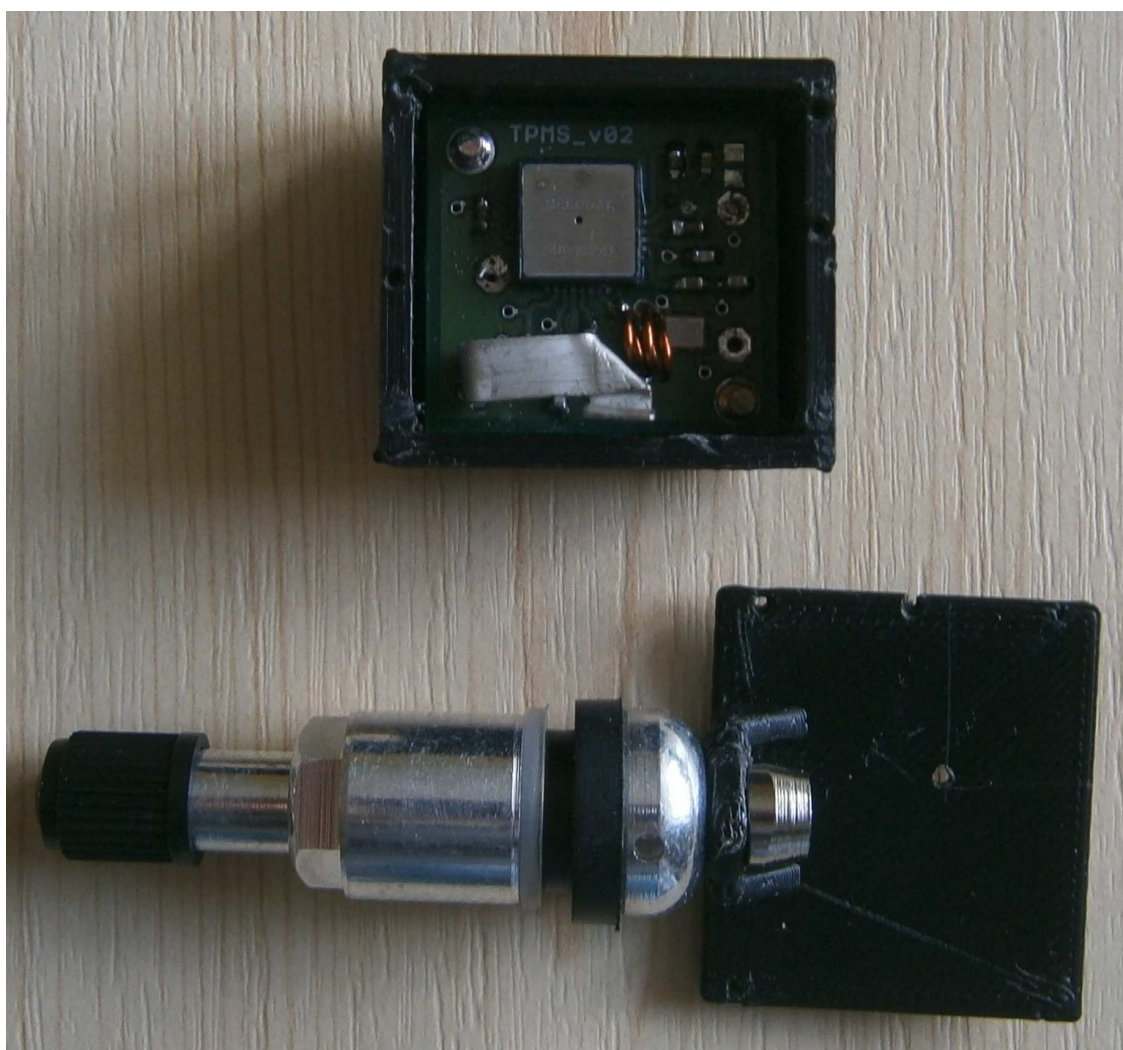
C Fotografie



Příloha C1: Ukázka grafického rozložení na displeji přijímací části



Příloha C2: Spodní strana plošného spoje přijímací části



Příloha C3: Fotografie senzoru uchyceného v krabičce společně s ventilkem