



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ KVALITY PROSTŘEDÍ V AUTĚ

DEVICE FOR MONITORING THE ENVIRONMENTAL QUALITY IN THE CAR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Doležal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Levek, Ph.D.

BRNO 2020

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Lukáš Doležal

ID: 159653

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Zařízení pro měření kvality prostředí v autě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte, popište a realizujte zařízení umožňující sledování veličin prostředí uvnitř kabiny automobilu. Zařízení bude snímat: teplotu, atmosférický tlak, vlhkost, množství kyslíčnicku uhličitého v prostředí a hladinu hluku. Součástí zařízení bude displej zobrazující aktuální či statistické hodnoty, ovládací tlačítka, optická a akustická signalizace. Zařízení bude umožňovat zálohu naměřených údajů a komunikaci s počítačem. Bude rovněž umožněno uživatelské nastavení vybraných funkcionalit a případná signalizace při dosažení limitních stavů vybraných veličin.

V rámci bakalářské práce prostudujte potřebnou problematiku, vypracujte popis použitých principů měření, proveďte výběr vhodných součástek, navrhněte a realizujte zařízení. Následně zařízení uveďte do provozu, otestujte jej a proveďte srovnávací měření vybraných veličin. Výsledky návrhu, realizace a testovacího provozu popište v textové části bakalářské práce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 8.6.2020

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Levek, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem zařízení pro monitorování vnitřního prostředí kabiny osobního vozidla. Zařízení umožňuje měřit teplotu, atmosférický tlak, vlhkost vzduchu, úroveň oxidu uhličitého a hladinu hluku. Hlavním řídicím prvkem zařízení je mikrokontrolér zajišťující komunikaci s použitými senzory. Veškeré naměřené údaje jsou zobrazovány na displeji a jsou ukládána do paměti. Pro možnost komunikace s počítačem zahrnuje zařízení USB rozhraní, pomocí kterého je možné uložená data libovolně analyzovat a zpracovávat.

KLÍČOVÁ SLOVA

Senzor, oxid uhličitý, teplota, tlak, vlhkost, mikrokontrolér PIC, CCS811, BME280

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the design of equipment for monitoring the internal environment of the cabin of a passenger car. Equipment suitable for measuring force, atmospheric pressure, humidity, possible noise level and noise level. The main control element of the device is a microcontroller providing communication with the used sensors. The available data is shown on the display and is stored in memory. For communication with a computer, it is possible to use the USB interface using stored data that can be analyzed and processed.

KEYWORDS

Sensor, carbon dioxide, temperature, pressure, humidity, microcontroler PIC, CCS811, BME280

DOLEŽAL, L. *Zařízení pro měření kvality prostředí v autě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2020. 65 s., 6 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Vladimír Levek, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Lukáš Doležal*

VUT ID studenta: *159653*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2019/20*

Téma závěrečné práce: *Zařízení pro měření kvality prostředí v autě*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **8. června 2020**

.....
Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladimíru Levkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 8. června 2020

.....

Podpis autora

OBSAH

Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xi
Úvod	1
1 Teoretická část	2
1.1 Kvalita ovzduší	2
1.2 Senzory a principy měření koncentrace plynů.....	3
1.3 Ekvivalent CO ₂ a TVOC	7
1.4 Senzor CCS811	8
1.5 Měření teploty	10
1.6 Měření atmosférického tlaku	14
1.7 Měření vlhkosti	15
1.8 Senzor BME280.....	16
1.9 Měření hladiny hluku.....	18
1.10 Sériové komunikační sběrnice	19
2 Návrh zařízení	23
2.1 Měření úrovně oxidu uhličitého.....	24
2.2 Měření teploty, tlaku a vlhkosti	24
2.3 Měření hladiny hluku.....	25
2.4 Displej	26
2.5 Ovládací tlačítka	28
2.6 Světelná a akustická signalizace	29
2.7 Zálohování naměřených údajů.....	31
2.8 Rozhraní pro komunikaci s PC	32
2.9 Mikrokontrolér.....	32
2.10 Napájení	34
2.11 Galvanicky oddělený vstup a výstup	35
3 Realizace zařízení	36
4 Firmware zařízení	38

4.1	Popis firmwaru.....	38
4.2	Ukládání dat.....	40
4.3	Ovládání zařízení	40
5	Testování zařízení	42
6	Závěr	44
	Literatura	45
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	48
A	Návrh zařízení	49
A.1	Schéma zapojení	49
A.2	Deska plošných spojů – vrchní strana.....	51
A.3	Deska plošných spojů – spodní strana	51
A.4	Osazovací plán – vrchní strana	52
A.5	Osazovací plán – spodní strana.....	52
B	Seznam součástek	53

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Princip funkce MOS senzoru, [3]	4
Obr. 1.2: Elektrochemický senzor plynu, [4].....	4
Obr. 1.3: Příklad zapojení elektrochemického senzoru k integrovanému potenciostatickému obvodu, [5].....	5
Obr. 1.4: Princip funkce foto-ionizačního senzoru, [3]	6
Obr. 1.5: Princip funkce NDIR senzoru, [7].....	7
Obr. 1.6: Srovnání přímé a nepřímé metody měření CO ₂ , [8].....	8
Obr. 1.7: Blokové schéma senzoru CCS811, [9]	9
Obr. 1.8: Pracovní režimy senzoru CCS811, [9]	9
Obr. 1.9: Závislost odporu Pt senzoru na teplotě, [12]	11
Obr. 1.10: Charakteristiky odporových teplotních senzorů, [11]	11
Obr. 1.11: Charakteristika monokrystalického senzoru, [11]	12
Obr. 1.12: Zapojení termočlánku, [13]	13
Obr. 1.13: Charakteristiky různých druhů termočlánků, [14].....	13
Obr. 1.14: Princip funkce tenzometru, [15]	14
Obr. 1.15: Piezoelektrický jev u krystalu křemene, [15]	14
Obr. 1.16: Kapacitní snímač tlaku a jeho charakteristika, [15]	15
Obr. 1.17: Senzor BME280, [17].....	16
Obr. 1.18: Blokové schéma senzoru BME280, [18].....	16
Obr. 1.19: Režimy senzoru BME280, [18]	17
Obr. 1.20: Struktura kapacitního mikrofону, [22]	18
Obr. 1.21: Struktura elektretového mikrofónu, [22]	19
Obr. 1.22: Příklad zapojení SPI sběrnice s více zařízeními slave, [26]	20
Obr. 1.23: Komunikační protokol sběrnice SPI, [26]	20
Obr. 1.24: Zapojení zařízení na sběrnici I2C	21
Obr. 1.25: Protokol komunikace sběrnice I2C, [27]	21
Obr. 1.26: Průběh komunikace sběrnice I2C, [19]	21
Obr. 1.27: Příklad komunikace pomocí USART, [28]	22
Obr. 2.1: Blokové schéma zařízení	23
Obr. 2.2: Zapojení senzoru CCS811	24
Obr. 2.3: Zapojení senzoru BME280.....	25

Obr. 2.4: Zapojení pro měření hladiny hluku	25
Obr. 2.5: Rozvržení displeje a velikost jednotlivých bodů (v mm), [20]	26
Obr. 2.6: Zapojení displeje	27
Obr. 2.7: Příklad komunikace s displejem po čtyřvodičové sběrnici SPI, [20].....	27
Obr. 2.8: Zapojení ovládacích tlačítek.....	28
Obr. 2.9: Příklad průběhu zákmitů při stisku tlačítka, [32]	28
Obr. 2.10: Zapojení signalizační LED diody	30
Obr. 2.11: Zapojení akustické signalizace	30
Obr. 2.12: Zapojení paměti pro zálohu dat	31
Obr. 2.13: Čtení dat z paměti, [29]	31
Obr. 2.14: Zapojení komunikačního rozhraní.....	32
Obr. 2.15: Zapojení mikrokontroléru.....	33
Obr. 2.16: Zapojení lineárního stabilizátoru	34
Obr. 2.17: Zapojení galvanicky odděleného vstupu a výstupu.....	35
Obr. 3.1: Vyrobená deska plošných spojů – vrchní strana	36
Obr. 3.2: Vyrobená deska plošných spojů – spodní strana	37
Obr. 3.3: Detailní pohled na kvalitu vyrobené desky	37
Obr. 4.1: Pohled na zařízení.....	38
Obr. 4.2: Hlavní smyčka programu	39
Obr. 4.3: Systém přerušení	39
Obr. 4.4: Menu zařízení	41
Obr. 5.1: Komunikace po I2C sběrnice se senzory BME280 a CCS811.....	42
Obr. 5.2: Komunikace s pamětí po SPI sběrnici.....	42
Obr. 5.3: Umístění zařízení v automobilu.....	42
Obr. 5.4: Přenos uložených dat do PC	43
Obr. 5.5: Naměřená koncentrace oxidu uhličitého během jízdy.....	43

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1: Napájecí požadavky senzoru CCS811, [9]	10
Tab. 1.2: Základní parametry senzoru BME280, [18]	17
Tab. 2.1: Základní vlastnosti mikrokontroléru PIC18F46J11	33
Tab. 2.2: Požadavky na napájení jednotlivých částí zařízení	34
Tab. 2.3: Základní vlastnosti obvodu TLP241A [36]	35
Tab. 4.1: Struktura záznamu dat v paměti	40

ÚVOD

Spousta lidí tráví mnoho času ve vozidle a přepravují se ať už jen na krátké nebo velké vzdálenosti. Jsou v uzavřeném prostoru a nepříznivé podmínky mohou snižovat soustředěnost řidiče, ale také jeho reakční schopnosti. Člověk navíc produkuje oxid uhličitý při svém vydechování a ten se může v uzavřeném prostředí hromadit a působit negativně na posádku vozidla. Ventilace vozidla sice neustále (pokud ji řidič nevypne nebo neuzavře přívod vzduchu z venku) zajišťuje přísun nového vzduchu z okolí. Je však tento přísun vzduchu dostatečný? Většina vozidel neobsahuje žádné měřicí zařízení, které by monitorovalo a zobrazovalo parametry prostředí v kabině vozu. Jedinými parametry, které bývají ve vozidlech zobrazovány jsou venkovní teplota a nastavená teplota proudícího vzduchu z ventilace. Některé vozy, zejména menší a levnější, však ani teplotu vzduchu z ventilace nezobrazují a uživatel má pouze možnost nastavovat poměr mezi teplým a studeným vzduchem.

Na trhu existují různá zařízení pro monitorování kvality vnitřního prostředí. Na českém trhu jsou tato zařízení dostupná jen v omezené míře a jen u specializovaných prodejců. Zařízení jsou však primárně určena pro měření parametrů ovzduší v budovách, např. v kancelářích, školách, úřadech, domácnostech. Nejsou tedy přizpůsobené pro použití ve vozidle, což se týká zejména napájení zařízení. Mnoho těchto zařízení je napájeno z baterií, což sice zajišťuje mobilitu takového zařízení, ovšem na druhou stranu také výměnu baterií, popř. dobíjení. Ceny zařízení monitorujících kvalitu ovzduší se pohybují v řádu několika tisíc korun.

K uvedeným okolnostem jsem se rozhodl v rámci této práce vyvinout zařízení, které bude monitorovat vybrané parametry vnitřního prostředí osobního automobilu a bude přizpůsobeno pro jeho provoz v tomto prostředí. Sledovanými parametry budou zejména: koncentrace oxidu uhličitého (popř. jiných plynů), teplota, atmosférický tlak, vlhkost vzduchu a hluk v kabině vozu. Zařízení zajistí zobrazení těchto hodnot v reálném čase, ale také bude umožněno ukládat naměřená data do paměti a následně je přenést do počítače pro pozdější analýzu.

V první části této práce budou popsány technologie a principy měření vybraných veličin z hlediska principů senzorů a podrobněji budou popsány zvolené senzory pro navrhované zařízení. Součástí této první kapitoly rovněž bude i popis sběrnic, které bude zařízení využívat. Následující kapitola bude pojednávat o samotném návrhu zařízení, kde bude představeno blokové schéma zařízení a poté jednotlivé bloky budou podrobněji popsány. V další části bude popsána realizace zařízení, kde budou uvedeny parametry navržené a vyrobené desky plošných spojů a následovat bude kapitola pojednávající o vytvořeném programovém vybavení, které zajišťuje veškeré funkce zařízení. Bude zde pomocí vývojových diagramů popsán princip funkce programu a dále detailnější popis způsobu ukládání dat a ovládání zařízení. Poslední kapitola bude popisovat ověření funkčnosti navrženého zařízení a v závěru bude provedeno shrnutí dosažených výsledků zhodnocení vytvořeného zařízení.

1 TEORETICKÁ ČÁST

V této kapitole se zaměřím na popis kvality ovzduší a převážně na oxid uhličitý. Následně zde popíšu nejčastěji používané principy snímání vybraných neelektrických veličin prostředí a metody jejich měření včetně popisu zvolených senzorů pro navrhované zařízení. Konec kapitoly zaměřím na popis sběrnic, které budou využity v zařízení.

1.1 Kvalita ovzduší

Hlavním důvodem ke sledování kvality a složení ovzduší v uzavřeném prostředí bylo doposud převážně zjistit přítomnost těkavých látek, a to hlavně tam, kde hrozí nebezpečí koncentrace těchto látek. Příkladem může být například koncentrace oxidu dusného (CO) v místě spalování, přítomnost amoniaku, výparů benzínu, toluenu a podobných látek v místech jejich výroby a zpracování.

Dnes se již začíná více do popředí dostávat i snaha o zajištění zdravého prostředí v běžném životě, především v kancelářích, na úradech, v domácnostech. Tedy i tam, kde se běžně nebezpečné látky nevyskytují. Zdravotní výzkumy však zjišťují, že i malá koncentrace jistých látek, které na člověka působí dlouhodobě (několik měsíců, let), mohou způsobovat vznik různých „civilizačních“ onemocnění, jako jsou například dýchací potíže, pálení očí, zvýšená únava, nervozita, ale také možný vliv na plodnost a vývoj dětí, nebo dokonce smrtelné nemoci jako jsou různé typy rakoviny a leukémie. V domácnosti můžeme najít několik různých věcí, které mohou uvolňovat nebezpečné látky, například výpary z barev, lepidel, aerosolové spreje, mycí prostředky či nekvalitní parfémy a deodoranty. Tyto přípravky mohou obsahovat tzv. VOC látky (Volatile Organic Compound – volně těkavé organické látky), které jsou v určité koncentraci zdraví škodlivé. Tyto látky (nejčastěji se jedná o kapaliny) jsou charakteristické svojí těkavostí, tzn., že se velmi snadno vypařují.

Světová zdravotnická organizace (WHO) vydala knihu „[Who guidelines for indoor air quality](#)“, kde stanovila 9 plyných látek, které se mohou nejčastěji vyskytovat v uzavřených prostředích a je vhodné kontrolovat jejich koncentrace. Jedná se o tyto látky: oxid uhličitý, oxid uhelnatý, oxidy dusíku, formaldehyd, benzen, benzo(a)pyren, naftalen, trichlorethylen a tetrachlorethylen.

Další popis zaměřím pouze na oxid uhličitý, jelikož se jedná o látku, která je přirozeným způsobem produkována samotným člověkem a v uzavřeném prostoru může představovat jistá rizika.

1.1.1 Oxid uhličitý CO₂

Oxid uhličitý je bezbarvý nehořlavý plyn bez zápachu. Je posledním stádiem oxidace organických látek a výsledkem hoření při dostatečném přísunu kyslíku. Je asi 1,5x těžší než vzduch.

Nachází uplatnění v mnoha různých odvětvích. V kapalném nebo tuhém skupenství se používá v potravinářství jako chladio (např. při přepravě mražených výrobků). Dále

se pak přidává do nápojů nebo jako přísada pro kypření těst anebo se využívá jako ochranná atmosféra pro svařování kovů. Rovněž se využívá jako stlačený plyn pro nafukování např. záchranných vest či člunů. V kapalně formě je použit v hasících přístrojích nebo jako dobré rozpouštědlo řady organických látek. Začíná se využívat i ve farmaceutickém a chemickém průmyslu jako netoxická náhrada dříve používaných rozpouštědel. Nalézá uplatnění v medicíně (stabilizace rovnováhy mezi kyslíkem a oxidem uhličitým v krvi) nebo i při těžbě ropy. Je také používán jako aktivní prostředí průmyslových laserů.

Zdrojem tohoto plynu jsou veškeré živé organismy, které ho produkují svým vydechováním. Naopak zelené rostliny oxid uhličitý spotřebovávají při fotosyntéze a společně s absorpční schopností oceánů zajišťují vyvážený stav ve složení vzduchu. Toto ovšem výrazně narušuje člověk svou činností, zejména pak velké množství oxidu uhličitého vzniká při spalování uhlíkatých fosilních paliv (zemního plynu, ropných produktů, uhlí, koksu), ale také při spalování biologických paliv (biomasy, dřeva, bionafty, bioplynu).

V atmosféře přispívá oxid uhličitý ke vzniku skleníkového efektu, kdy zadržuje infračervené záření a tím způsobuje oteplování planety. Jeho koncentrace v atmosféře v současné době neustále stoupá.

Za běžných podmínek je koncentrace CO_2 v ovzduší velice nízká, a tak nepředstavuje žádné riziko pro živé organismy. Při vyšších koncentracích může být toxický (např. v nevětraných uvařených prostorech). Způsobuje bolesti hlavy, závratě, dýchací potíže, zmatenost, třes a zvonění v uších. Ve velmi vysoké koncentraci mohou nastat, křeče, bezvědomí a smrt. Může také poškodit mozek nebo zrak.

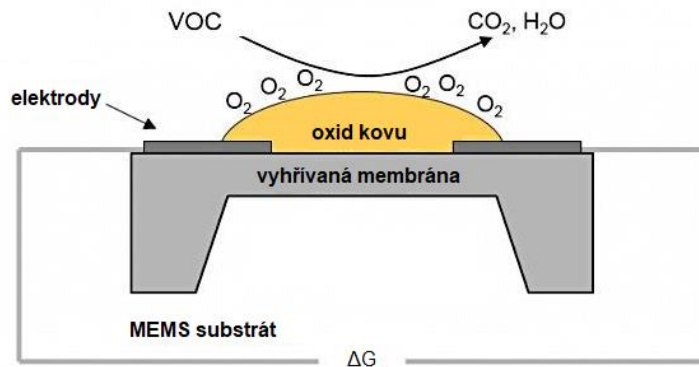
1.2 Senzory a principy měření koncentrace plynů

Pro měření koncentrace plynů se používá několik různých principů. Při výběru typu senzoru je nutné zohlednit jaký plyn (plyny) požadujeme detekovat a s jakou citlivostí. Následující podkapitoly popisují různé principy měření koncentrace plynů.

1.2.1 Metal oxidový senzor (GSS/MOS/MOx)

GSS (*Gas Sensing Solution*), MOS (*Metal Oxide Semiconductor*) či MOx (*Metal Oxide*) jsou polovodičové senzory založeny na principu interakce mezi molekulami plynu a vodivou vrstvou senzoru, přičemž dochází ke změně vodivosti této vrstvy. Obr. 1.1 naznačuje tento princip.

Jako materiály pro vodivou vrstvu se používají oxidy kovů (zinku, cínu, wolframu, india, ad.). Ve vyváženém stavu je na povrchu oxidové vrstvy přítomen kyslík. Když se ve vzduchu objeví jiné částice, poruší se tato rovnováha a oxidová vrstva změní svoji vodivost. Snímací vrstva je mnohdy pro detekci některých plynů vytápěna na teploty $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ a její materiál také závisí na detekovaném plynu.

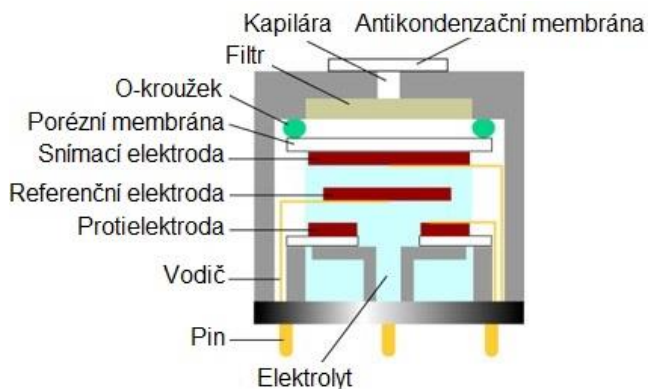


Obr. 1.1: Princip funkce MOS senzoru, [3]

Vlastnosti snímací vrstvy jsou nejdůležitějším parametrem těchto senzorů a určují přesnost a citlivost senzoru. Pro jejich poměrně jednoduchý princip a možnosti integrace do formy elektronické součástky, se často integrují do jednoho pouzdra současně snímání a vyhodnocování pro různé typy plynů. Je možné je velice dobře miniaturizovat a hromadně vyrábět, takže jsou dobře dostupné a levné. Nevýhodou je však použitelnost jen pro některé druhy plynů. Také občas mívají nižší rozsah a přesnost měření než jiné principy.

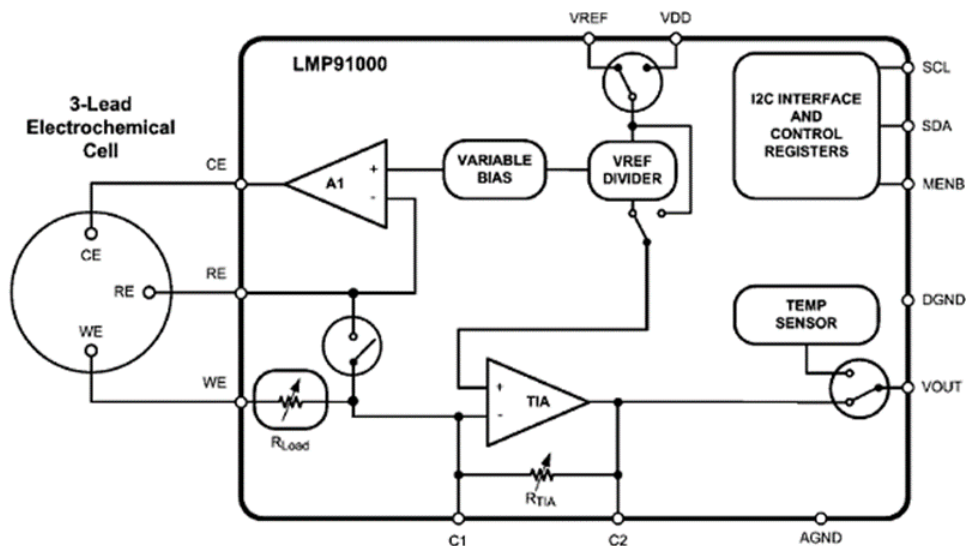
1.2.2 Elektrochemický senzor (GSE/EC)

Elektrochemický senzor (*Gas Sensitive Electrochemical* – GSE, *Electrochemical Sensor* – EC) je založen na následujícím principu. Molekuly detekovaného plynu procházejí nejprve antikondenzační membránou, která také brání pronikání prachu do senzoru. Následně postupují kapilárou přes filtr a hydrofobní membránu (porézní) až na snímací elektrodu (někdy bývá označována jako pracovní elektroda), viz. obr. 1.2. Na této elektrodě molekuly oxidují nebo se chemicky redukují, a přitom dochází ke vzniku volných elektronů, a tedy i elektrického proudu. Množství vstupujících molekul, a tedy i velikost vznikajícího proudu je omezena difúzí skrze kapiláru. Optimalizací této kapiláry se s požadavkem na rozsah měření získává odpovídající elektrický signál. Senzor obsahuje rovněž čítací elektrodu (označuje se také jako vyrovnávací, pomocná elektroda nebo protielektroda), která vyrovnává reakci na snímací elektrodě. Prostor mezi elektrodami je vyplněn elektrolytem, který zajišťuje průchod iontového proudu mezi elektrodami. Každá z elektrod je pomocí drátového vodiče vyvedena na piny senzoru.



Obr. 1.2: Elektrochemický senzor plynu, [4]

Většinou senzor obsahuje ještě třetí elektrodu (tříelektroodový senzor). Tato elektroda se označuje jako referenční (Reference Electrode) a slouží k udržení potenciálu snímací elektrody na konstantní hodnotě. Pro použití elektrochemického senzoru je nutné využít potenciostatického obvodu.



Obr. 1.3: Příklad zapojení elektrochemického senzoru k integrovanému potenciostatickému obvodu, [5]

Obr. 1.3 zobrazuje zapojení elektrochemického senzoru plynů k potenciostatickému obvodu, který zde reprezentuje integrovaný obvod LMP91000. Základem tohoto obvodu je zesilovač s diferenciálním vstupem, který porovnává napětí pracovní WE a referenční RE elektrody s požadovaným pracovním předpětím (tzv. vložené napětí). Naměřený rozdílový signál je zesílen řídicím zesilovačem A1 a je přiveden na vyrovnávací CE elektrodu, která odchylku kompenzuje.

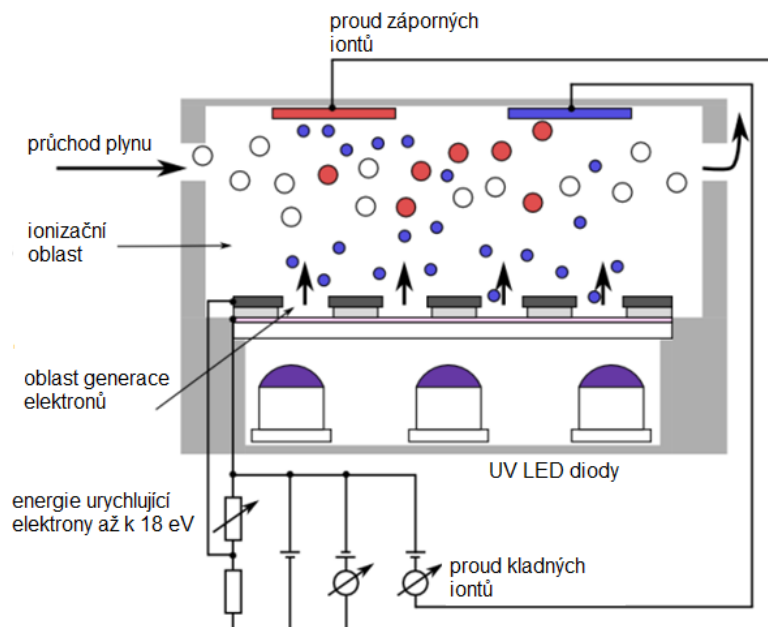
Tyto senzory mají dobré měřicí vlastnosti a je možné je vyrobit pro měření velkého množství různých plynů. Nevýhodou je poměrně krátká životnost senzoru, která bývá obvykle 1 až 2 roky. Nízká životnost je způsobena chemickými změnami, které jsou nevratné a vyčerpávají elektrolyt. Pro zachování jisté třídy přesnosti je nutné senzor často znovu kalibrovat.

1.2.3 Foto-ionizační senzor (PID)

Foto-ionizační senzor (*Photoionization detector* – PID) funguje na principu měření počtu iontů molekul ionizovaných plynů vlivem působení ultrafialového záření (UV – *UltraViolet*). Vzniklé kladné a záporné ionty poté následně generují elektrický proud na elektrodách a ten je zesílen a vyhodnocen elektronikou senzoru. Velikost proudu na elektrodách je tedy závislá na koncentraci plynů v prostředí.

Obr. 1.4 zobrazuje fyzické uspořádání senzoru. Ultrafialové záření je vytvářeno pomocí kalibrovaných UV LED diod. Ty jsou cejchovány v hodnotách ionizační energie (jednotky eV, elektronvolt). Běžně jsou zdroje UV záření poskytující 9,8 10,6 a 11,7 eV. Molekuly plynu vstupující do senzoru mohou být ionizovány pouze za předpokladu, že jejich ionizační energie je shodná nebo menší než ionizační energie UV LED. Tzn., že

např. při použití zdroje UV s ionizační energií 9,8 eV bude senzor reagovat na všechny částice plynu, které budou mít ionizační energii 9,8 eV nebo menší. Senzor tedy není schopen rozlišit konkrétní plyn, a proto je využíván zejména na měření celkové koncentrace převážně VOC látek v ovzduší.



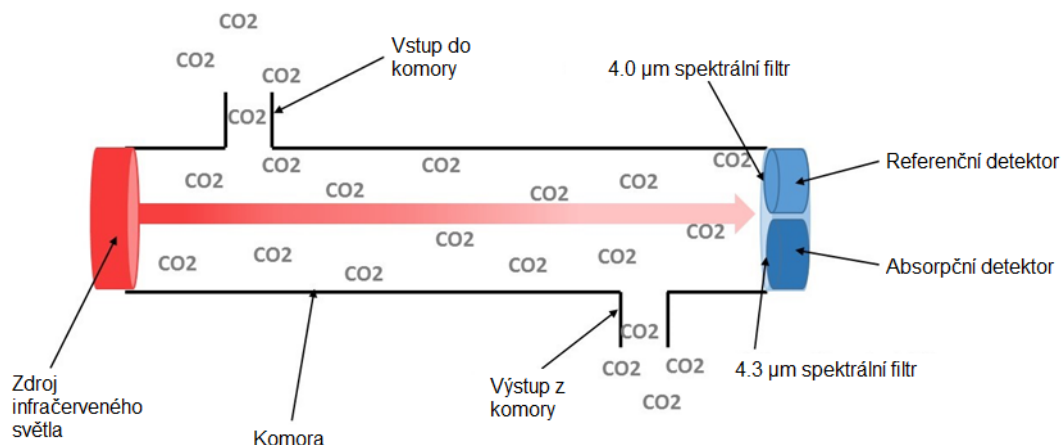
Obr. 1.4: Princip funkce foto-ionizačního senzoru, [3]

Mezi výhody tohoto senzoru patří schopnost měření velkých koncentrací, velký měřicí rozsah, rychlá odezva a časová stabilita.

1.2.4 Nedisperzní infračervený senzor (NDIR)

Nedisperzní infračervený senzor (*Non Dispersive Infra-Red* – NDIR) pracuje na principu absorpční spektroskopie. Využívá se u něj vlastnosti, kdy jisté plyny, zejména oxid uhličitý, pohlcují infračervené záření. Princip funkce je naznačen na Obr. 1.5. Senzor obsahuje zdroj infračerveného záření (infračervená LED dioda), které je vyzařováno skrze komoru (Chamber) tak, že nedochází k disperzi (rozptylování) tohoto paprsku. Ten následně dopadá na detektor, který v závislosti na míře dopadajícího záření generuje odpovídající elektrický signál. Komora má otvory kudy může vstupovat a vystupovat vzduch. Pokud vzduch obsahuje i plyn, který má absorpční schopnost infračerveného záření o vysílané vlnové délce, budou částice tohoto plynu pohlcovat infračervené záření. Na detektor bude dopadat menší množství záření a jeho výstupní signál se zmenší (platí přibližně logaritmická závislost).

Pro tyto senzory se používá záření o vlnových délkách 2,7; 4,3 (4,26) a 15 μm . Pro měření oxidu uhličitého bylo zjištěno, že při vlnové délce 4,3 μm dochází k maximální absorpci záření a minimálnímu rušení, a proto je tato hodnota obecně používána v NDIR senzorech. Senzor často také obsahuje tzv. referenční detektor (Reference detector), který měří záření o vlnové délce 4 μm .



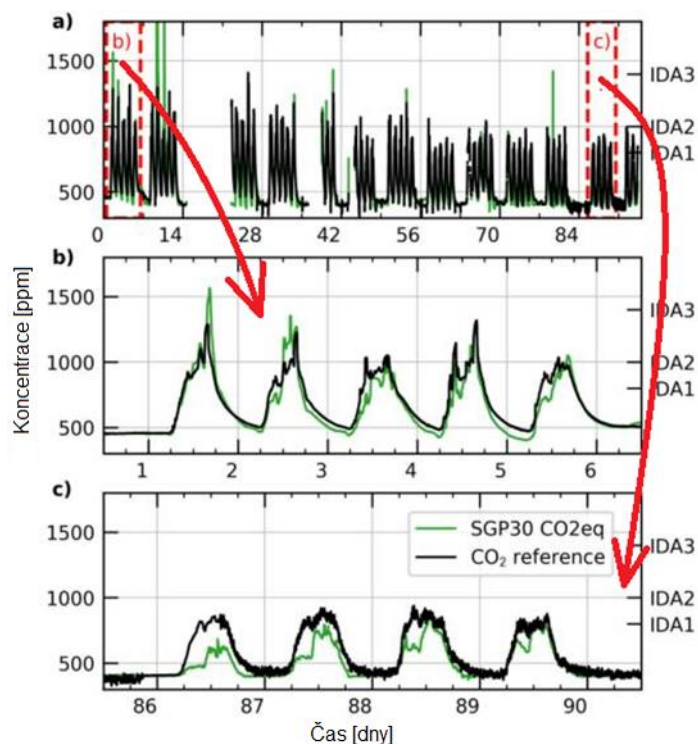
Obr. 1.5: Princip funkce NDIR senzoru, [7]

Jednou z nevýhod těchto senzorů je skutečnost, že vysoká koncentrace plynu může infračervené záření zcela pohltit a z detektorů tak nedostáváme žádný signál. Z tohoto důvodu je možné tyto senzory využívat pouze pro měření menších koncentrací. Další nevýhodou je poměrně vysoká cena senzorů a možnost použití jen na některé druhy plynů. Výhodou je velmi přesné měření, zejména oxidu uhličitého.

1.3 Ekvivalent CO₂ a TVOC

Pojem TVOC (*Total Volatile Organic Compounds*) představuje celkové množství VOC látek v prostředí. Mezi tyto látky patří mnoho různých plynů (např. aceton, ethanol, formaldehyd, toluen ad.). Jelikož by bylo obtížné měřit celkové směsi těchto plynů, bývají mnohé senzory během procesu výroby nakalibrovány pouze na jeden konkrétní plyn. S tímto je obvykle také požadováno, aby senzor měl podobnou citlivost na tento jeden plyn a na typickou směs VOC látek ve vnitřních prostorech. Senzory obvykle bývají citlivé na ethanol a poté pomocí konverzních parametrů přepočtou tento údaj na TVOC. Výpočty se provádí přímo na čipu pomocí uložených kalibračních parametrů, které jsou vloženy při výrobě.

Zatímco VOC látky pocházejí zejména z lidské činnosti, popř. se mohou uvolňovat z některých materiálů, oxid uhličitý je v běžném uzavřeném prostoru látka produkovaná člověkem samým. Lidský dech obsahuje významné množství CO₂ (4 %) a H₂ (10 ppm). Tzn., že v uzavřeném prostředí je koncentrace H₂ v určitém vztahu s CO₂ a jelikož pomocí MOx senzorů je obtížné detekovat CO₂, měří tyto senzory jen H₂. Údaj o koncentraci H₂ se poté pomocí určitého vztahu, který byl stanoven pomocí senzorů NDIR, přepočítá na koncentraci CO₂. Tento výsledek se označuje jako ekvivalent CO₂ (eCO₂).



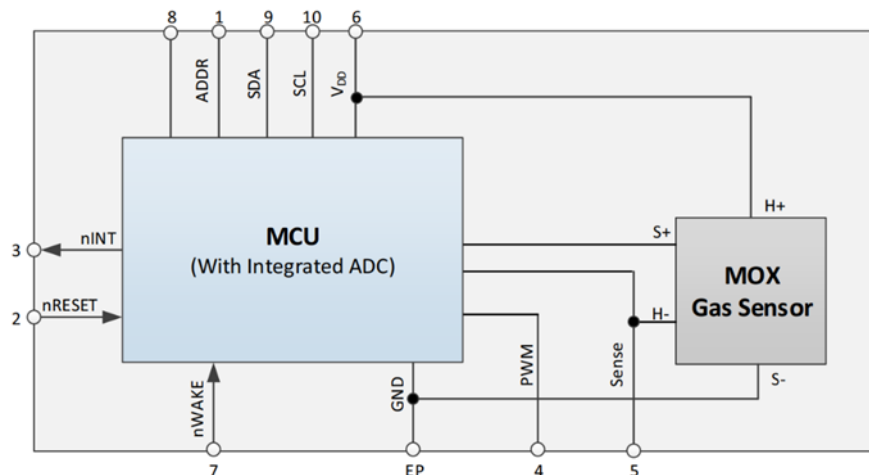
Obr. 1.6: Srovnání přímé a nepřímé metody měření CO₂, [8]

Obr. 1.6 zobrazuje porovnání údajů CO₂ během tří měsíců v typické zasedací místnosti (a). Černá křivka představuje údaje přímého měření pomocí senzoru NDIR a zelená křivka jsou hodnoty eCO₂. Z výsledků tohoto měření je vidět, že výsledné hodnoty se příliš neliší.

1.4 Senzor CCS811

Senzor CCS811 je součástka s velmi nízkou spotřebou určená pro monitorování kvality prostředí od společnosti ams AG.

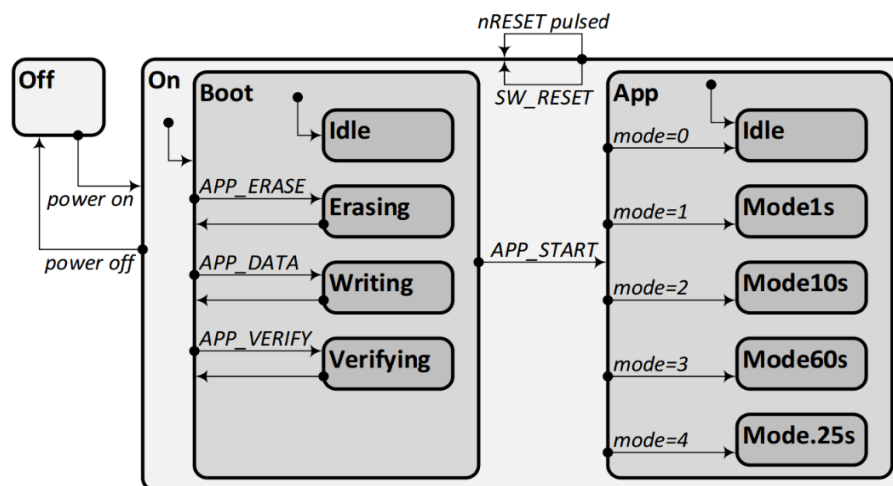
Senzor obsahuje analogovou část sestávající se z vlastního senzoru MOx, jehož princip je popsán v kapitole 1.2.1, a digitální části, která obsahuje integrovaný mikrokontrolér. Ten zpracovává pomocí AD převodníku údaje ze senzoru a zajišťuje komunikaci po sběrnici I2C s nadřazeným systémem. Blokové schéma senzoru zobrazuje Obr. 1.7.



Obr. 1.7: Blokové schéma senzoru CCS811, [9]

Vzhledem k vlastnostem MOx senzorů dochází ke změně citlivosti v závislosti na čase, zejména v krátké době po výrobě. Interní odpor senzoru se nejvíce změní během prvních 48 hodin. Senzor řídí periodu zahoření (*Burn-In*) a umožňuje přecíst naměřené hodnoty až po 60 minutách provozu. Po této fázi by již měl být senzor zkalibrován a přejde do fáze běžného používání (*Run-In*), kde po zapnutí asi po 20 minutách je možné považovat získané údaje za ustálené a přesné.

Teplota a vlhkost mohou mít výrazný vliv na získané hodnoty ze senzoru. Proto je senzor vybaven funkcemi pro kompenzaci těchto parametrů, kdy je možné mu zadat tyto hodnoty a při výpočtech bude tento vliv zmírněn. V tomto případě je nutné získat informace o teplotě a vlhkosti pomocí jiného senzoru.



Obr. 1.8: Pracovní režimy senzoru CCS811, [9]

Senzor CCS811 může pracovat v pěti režimech, viz. obr. 1.8:

- Režim 0 (klidový režim, *Idle*): Senzor je nečinný a neměří žádné hodnoty, což znamená také nejnížší spotřebu energie.
- Režim 1 (režim konstantního výkonu, *Mode1s*): měření se provádí každou sekundu.

- Režim 2 (pulzní ohřev, *Mode10s*): senzor provádí měření každých 10 sekund
- Režim 3 (nízkoenergetický pulzní ohřev, *Mode60s*): senzor měří každých 60 sekund
- Režim 4 (režim konstantního výkonu, *Mode.25s*): měření se provádí každých 250 ms s tím, že se neprovedou přepočty a nadřazený systém získá přímo surové (*raw*) hodnoty.

Tab. 1.1: Napájecí požadavky senzoru CCS811, [9]

Napájecí napětí		1,8 – 3,3	V
Proudový odběr	Při měření	26	mA
	Průměr při pulzním režimu	0,7	mA
	Režim nízké spotřeby (<i>Sleep</i>)	19	μA
Výkonová spotřeba	Režim 0	0,034	mW
	Režim 1 a 4	46	mW
	Režim 2	7	mW
	Režim 3	1,2	mW

Rozsah měření pro eCO₂ je od 400 ppm do 29206 ppm a pro TVOC je rozsah od 0 ppb do 32768 ppb.

1.5 Měření teploty

Teplota patří mezi nejčastěji měřené veličiny a existuje mnoho způsobů, jak ji měřit. V zásadě lze senzory rozdělit na dvě hlavní skupiny: senzory pro dotykové a pro bezdotykové měření. Pro následující popis se zaměřím na dotykové senzory a zejména takové, které převádějí teplotu na elektrický signál.

1.5.1 Odporové kovové senzory

Se zvyšující se teplotou se rovněž zvyšuje odpor kovu. Tuto závislost lze v rozsahu teplot 0 °C až 100 °C vyjádřit přibližným vztahem

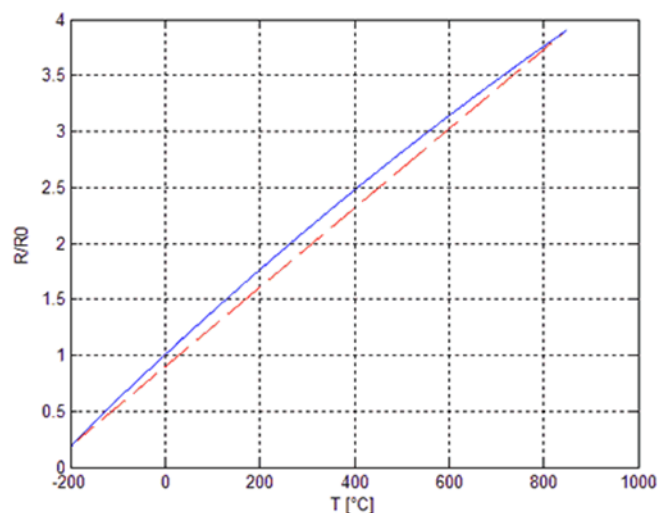
$$R = R_0(1 + \alpha\vartheta) \quad (1)$$

kde α [K⁻¹] je teplotní součinitel odporu a R_0 odpor při teplotě 0 °C.

Pro kovové senzory se nejčastěji používá platina, ale také nikl, měď, molybden nebo některé slitiny.

Platinové senzory jsou vyráběny drátkovou, tenkovrstvou nebo tlustovrstvou technologií. Při drátkové technologii výroby je měřicí odpor vytvořen spirálovitě stočeným drátkem zataveným do keramiky nebo skla. Platina a izolační materiál jsou v přímém kontaktu, a protože mají různou teplotní roztažnost, vzniká chyba projevující se jako hystereze. Tenkovrstvá technologie výroby je založena na napařování a iontovém leptání platiny na korundovou destičku. Takové senzory mají poté rychlejší odezvu než

drátkové, mají vyšší odpor a jsou levnější. Výhodou drátkových senzorů je jejich časová stálost.

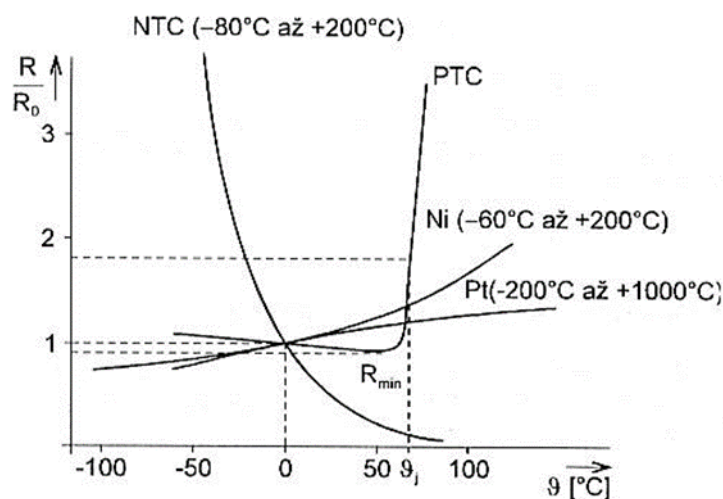


Obr. 1.9: Závislost odporu Pt senzoru na teplotě, [12]

Na Obr. 1.9 je zakreslena modrou křivkou závislost platinového senzoru na teplotě. Červená přímka zde pouze zvýrazňuje nelinearitu této závislosti.

1.5.2 Odporové polovodičové senzory – termistory

Termistory jsou založeny na závislosti elektrického odporu na teplotě polovodičového materiálu, kdy dochází ke změně koncentrace volných nosičů náboje. Hlavní výhodou je velká citlivost, a tedy i relativně velký výstupní signál. Mezi nevýhody patří horší stabilita, větší šum, malý teplotní rozsah a nelinearita.



Obr. 1.10: Charakteristiky odporových teplotních senzorů, [11]

PTC termistory (pozistory) jsou polovodičové senzory s kladným teplotním součinitelem odporu (tzn. při zvyšující se teplotě se zvyšuje i odpor). Vzhledem k jejich charakteristice (Obr. 1.10) jsou vhodné pro měření jen v úzkém rozsahu teplot a používají

se převážně pro signalizační účely.

NTC termistory (negastory) jsou naopak polovodičové senzory se záporným teplotním součinitelem a jejich odpor se zvyšující se teplotou klesá. Tuto závislost lze popsat podle vztahu

$$R = R_0 e^{-B\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)} \quad (2)$$

kde R je odpor při teplotě T_0 , resp. T a B je veličina úměrná aktivační energii. Tuto energii lze určit v daném pracovním intervalu změřením odporu termistoru při dvou teplotách

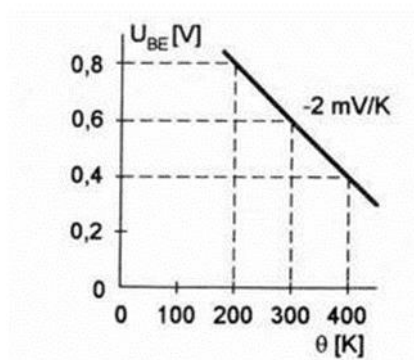
$$B = \frac{\ln R_0 - \ln R}{\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}} \quad (3)$$

1.5.3 Odporové polovodičové senzory – monokrystalické/CMOS

Jsou založeny na změně pohyblivosti volných nosičů náboje uvnitř polovodiče se změnou teploty. Zvyšující se teplota snižuje pohyblivost nosičů, klesá vodivost, tedy roste odpor. Jejich závislost je lineární a mají vyšší stabilitu než termistory. Nevýhodou je pak malý teplotní rozsah a menší citlivost oproti termistorům. Využívají se v integrovaných obvodech s MOS / CMOS tranzistory.

1.5.4 Monokrystalické křemíkové PN senzory

Napětí PN přechodu v propustném směru je teplotně závislé, a právě toho se využívá v těchto senzorech. Nejčastěji se využívá PN přechodu báze-emitor tranzistoru (U_{BE}).



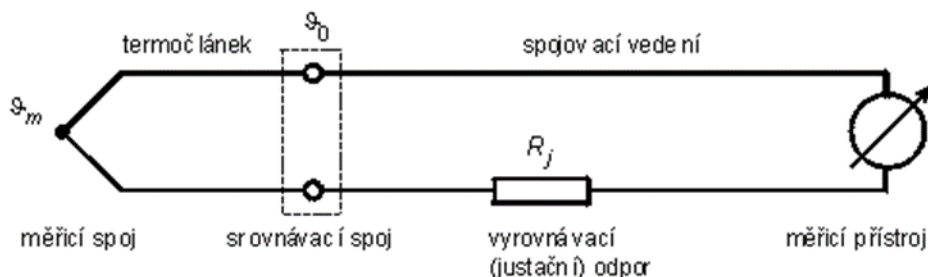
Obr. 1.11: Charakteristika monokrystalického senzoru, [11]

Na Obr. 1.11 je uvedena závislost napětí U_{BE} na teplotě. Teplotní koeficient je záporný nabývá hodnot v rozmezí -2,5 až 2 mV/K. Výhodou je lineární závislost, vysoká citlivost a možnost snadné integrace do polovodičových čipů. Mezi nevýhody patří malý teplotní rozsah.

1.5.5 Termoelektrické senzory – termočlánky

Termočlánek se skládá ze dvou vodičů z různých materiálů, které jsou v jednom bodě spojeny (schematicky znázorněno na Obr. 1.12). Bude-li teplota spojeného místa různá od teploty volných konců vodičů, dojde k posunu elektronové hustoty (difuze). Na

teplejším konci dojde k úbytku elektronů a na chladnějším konci dojde k přírůstku elektronů. Vzniká tedy napětí, které se označuje jako termoelektrické napětí. Volné konce vodičů označujeme jako referenční spoj (srovnávací). Teplota na tomto spoji musí být konstantní nebo musí být kompenzován vliv termoelektrického napětí tohoto spoje.

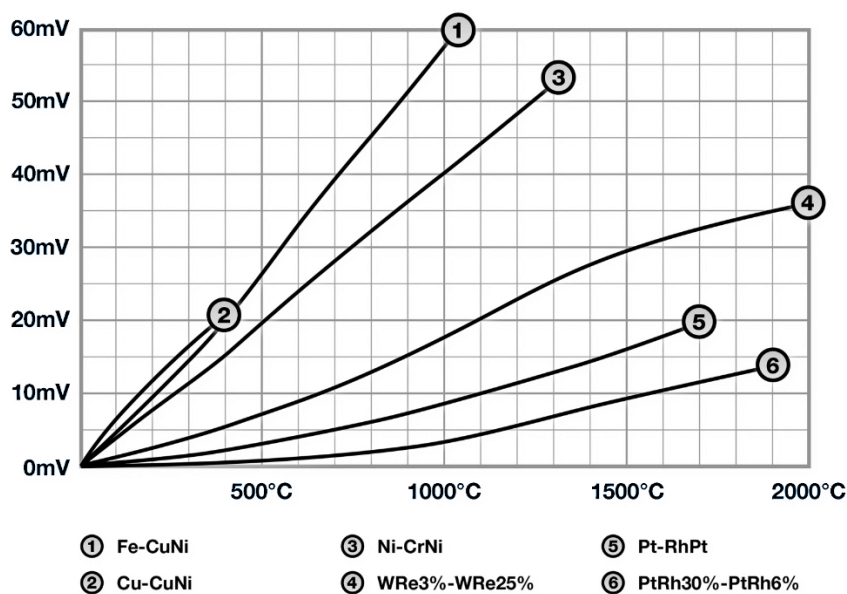


Obr. 1.12: Zapojení termočlásku, [13]

Závislost termoelektrického napětí na teplotě je dána následujícím zjednodušeným vztahem

$$U = \alpha_{AB}\vartheta_m + \alpha_{BA}\vartheta_0 = \alpha_{AB}(\vartheta_m - \vartheta_0) \quad (4)$$

kde α_{AB} je koeficient závislý na materiálu použitých kovů a platí, že $\alpha_{AB} = -\alpha_{BA}$.



Obr. 1.13: Charakteristiky různých druhů termočlásků, [14]

Průběh generovaného napětí v závislosti na teplotě pro několik vybraných typů termočlásků zobrazuje Obr. 1.13. Vzhledem ke zvoleným materiálům jsou vidět velké rozdíly v průbězích.

1.6 Měření atmosférického tlaku

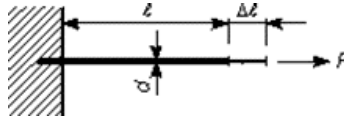
Tlak, jehož jednotkou je Pascal [Pa], vyjadřuje velikost síly, která působí kolmo na plochu, tzn.

$$p = \frac{dF}{dS} \quad (5)$$

Přístroje pro měření tlaku se nazývají tlakoměry. Pro měření atmosférického tlaku se pak tyto přístroje označují jako barometry. Opět zde existuje několik různých fyzikálních principů, na kterých jsou tlakoměry založeny. Pro další popis se zaměřím na tlakoměry, které převádí tlak na elektrický signál.

1.6.1 Snímače s odporovými tenzometry

Takovéto senzory jsou založeny na tzv. piezorezistivním jevu. Při mechanickém namáhání (tlakem nebo tahem) dochází u kovů nebo polovodičů ke změnám jejich elektrického odporu.

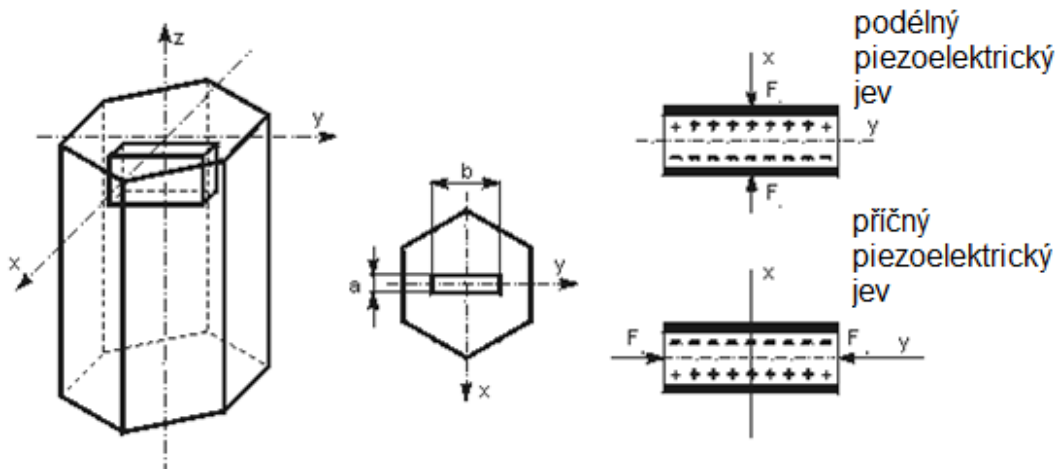


Obr. 1.14: Princip funkce tenzometru, [15]

Obr. 1.14 naznačuje princip funkce tenzometru, kde na těleso působí síla F a dochází k prodloužení o délku Δl a změnu šířky d .

1.6.2 Piezoelektrické snímače

Jsou založeny na piezoelektrickém jevu, při kterém vzniká elektrický náboj vlivem působení mechanických deformací na jistý druh krystalu. Nejčastěji se využívá SiO_2 a BaTiO_3 , ze kterých se vyřízne destička, která má hrany rovnoběžné s osami krystalu (X – elektrická osa, Y – mechanická osa, Z – optická osa), viz. Obr. 1.15.



Obr. 1.15: Piezoelektrický jev u krystalu křemene, [15]

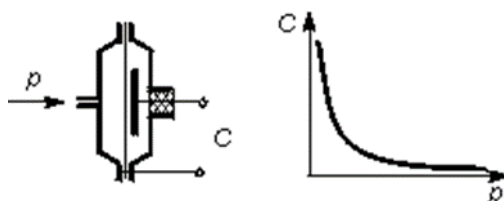
Bude-li působit kolmá síla na optickou osu, krystal se nabije a na kolmých osách na elektrickou osu se objeví elektrický náboj.

1.6.3 Kapacitní snímače

Kapacitní snímače využívají změnu kapacity, která je určena vztahem

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \quad (6)$$

kde S je plocha elektrod, d je vzdálenost elektrod, ε_0 je permitivita vakua a ε_r je relativní permitivita použitého dielektrika.



Obr. 1.16: Kapacitní snímač tlaku a jeho charakteristika, [15]

Při měření tlaku se využívá mechanismu, kdy jedna elektroda je pevná a druhá se pohybuje v závislosti na působícím tlaku (viz. Obr. 1.16). Touto změnou se poté mění kapacita senzoru.

1.7 Měření vlhkosti

Měřením vlhkosti zjišťujeme množství vody obsažené ve vzduchu. Nejčastěji se vyjadřuje tzv. relativní vlhkost udávaná v %. Ta představuje poměr hmotnosti skutečného obsahu vodních par k hmotnosti vodních par nasyceného vzduchu. Přístroje pro měření vlhkosti se nazývají hygrometry. Většina běžných přístrojů pro měření vlhkosti je založena na odporových nebo kapacitních hygrometrech.

1.7.1 Odporové a kapacitní hygrometry

Lithiumchloridový hygrometr s kapalným elektrolytem je složen z nevodivé trubičky, na které je umístěna tkanina s bifilárně navinutými elektrodami. Tkanina je napuštěna roztokem LiCl a elektrodami prochází střídavý proud, který je zahřívá. Tímto zahříváním se odpařuje voda z elektrolytu, zmenšuje se vodivost, klesá proud a s tím klesá i teplota. Snížení teploty vyvolá pohlcování vodní páry, následně se zvýší vodivost, tedy i proud a teplota elektrod se opět zvedne. Dosažení rovnovážného stavu vody v elektrolytu je závislé na teplotě elektrolytu, která je funkcí parciálního tlaku vodních par v ovzduší.

Hygrometr s tuhým elektrolytem má jednu elektrodu složenou z hliníku s vrstvičkou Al_2O_3 a druhou elektrodu s napařenou tenkou vrstvičkou zlata, která je propustná pro vodní páry. Pronikáním vody do elektrolytu se mění elektrický odpor a z něj se vyhodnotí vlhkost.

Kapacitní hygrometr je založen na principu kondenzátoru s dielektrikem z polymeru. Jedna jeho elektroda je postavena tak, aby mohla přes ni mohla vodní pára pronikat do

polymeru. Voda v polymeru mění jeho dielektrické vlastnosti a dochází tak ke změně kapacity kondenzátoru.

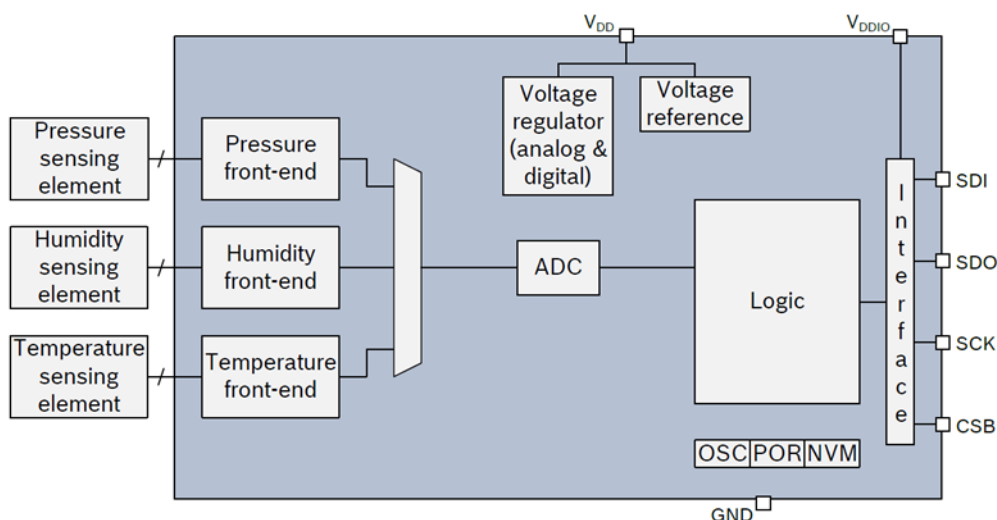
1.8 Senzor BME280

BME280 je součástka zahrnující senzor teploty, tlaku a vlhkosti od společnosti Bosh Sensortec. Senzor je v pouzdru LGA o rozměrech 2,5 x 2,5 x 0,93 mm (Obr. 1.17). Je navržen pro nízkou spotřebu proudu a dlouhodobou stabilitu.



Obr. 1.17: Senzor BME280, [17]

Obr. 1.18 zobrazuje vnitřní zapojení senzoru, kde kromě výše uvedených snímačů rovněž obsahuje digitální logickou část, která zpracovává naměřené údaje a zajišťuje komunikaci s nadřazeným systémem. Senzor je možné zapojit, aby komunikoval po sběrnici I2C nebo SPI.



Obr. 1.18: Blokové schéma senzoru BME280, [18]

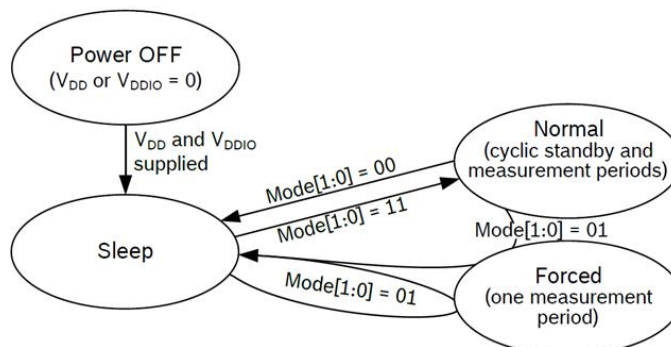
Tab. 1.2 shrnuje základní parametry senzoru s ohledem na proudovou spotřebu a přesnosti daných měření.

Tab. 1.2: Základní parametry senzoru BME280, [18]

Teplotní rozsah		-40 až +85	°C
Měření vlhkosti	Spotřeba proudu	1,8 až 2,8	μA
	Tolerance	±3	%RH
	Časová odezva	1	s
	Rozlišení	0,008	%RH
	Dlouhodobá stabilita	0,5	%RH/rok
Měření tlaku	Teplotní rozsah pro nejvyšší přesnost	0 až +65	°C
	Rozsah	300 až 1100	hPa
	Spotřeba proudu	2,8 až 4,2	μA
	Přesnost	300 až 1100 hPa -20 až 0 °C	±1,7 hPa
		300 až 1100 hPa 0 až +65 °C	±1 hPa
		1100 až 1250 hPa 25 až 40 °C	±1,5 hPa
		Relativní 700 až 900 hPa 25 až 40 °C	±0,12 hPa
	Dlouhodobá stabilita	±1	hPa/rok
	Rozlišení	0,18	Pa
Měření teploty	Spotřeba proudu	1	μA
	Přesnost	0 až 65 °C	±1 °C
		-20 až 0 °C	±1,25 °C
		-40 až -20 °C	±1,5 °C
	Rozlišení	0,01	°C

BME280 může pracovat ve třech režimech, viz. Obr. 1.19:

- Režim nízké spotřeby (*Sleep*)
- Normální režim (*Normal*)
- Nucený režim (*Forced*)



Obr. 1.19: Režimy senzoru BME280, [18]

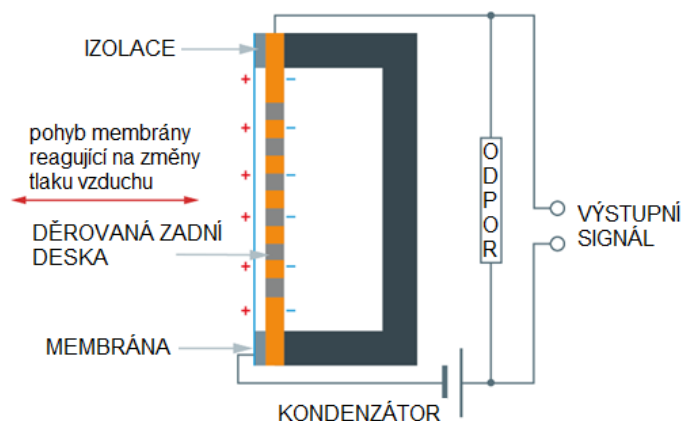
Do režimu *Sleep* senzor přechází automaticky po zapnutí napájení. V tomto režimu neprovádí žádná měření, ale je umožněn přístup do všech registrů. V režimu *Normal* senzor provádí pravidelně měření, které se opakuje po nastaveném čase. Ten je možné nastavit v rozsahu 0,5 ms až 1 s. V režimu *Forced* se provede pouze jedno měření a poté senzor přejde do režimu *Sleep*, tzn, že měření se neprovádí periodicky, ale jen v případě potřeby.

1.9 Měření hladiny hluku

Pro měření hladiny hluku, popř. jiných zvuků, se používají mikrofony. Ty převádí akustický mechanický signál na signál elektrický. Mikrofony mohou být založeny na principu elektromagnetické indukce, kde se vlivem pohybu vodiče v magnetickém poli generuje napětí, nebo na principu proměnné kapacity.

1.9.1 Kapacitní mikrofony

Tyto mikrofony bývají často označovány také jako kondenzátorové. Jsou založeny na principu generování napětí při změně elektrostatické energie.



Obr. 1.20: Struktura kapacitního mikrofónu, [22]

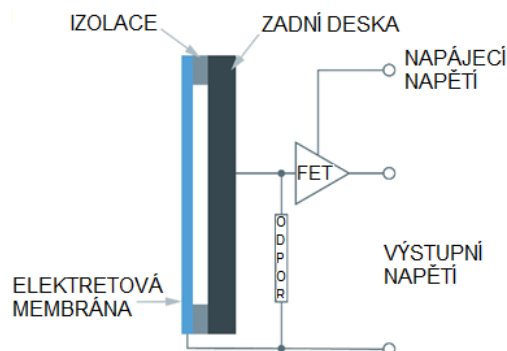
Obr. 1.20 zobrazuje vnitřní uspořádání kapacitního mikrofónu. Uvnitř se nachází velmi tenká a pružná vodivá membrána a děrovaná kovová destička. Tyto dvě části jsou odděleny izolátorem a společně tak tvoří desky kondenzátoru. Na obou těchto elektrodách je přítomen elektrický náboj.

Dopadá-li na membránu akustický tlak, začne se membrána pohybovat. Mění se vzdálenost mezi membránou a zadní destičkou a tím se mění kapacita mezi těmito elektrodami. Dochází tak ke změně výstupního signálu.

1.9.2 Elektretové mikrofony

Elektretové mikrofony fungují na stejném principu jako mikrofony kapacitní. Rozdíl je však v elektrickém náboji, který zde není přiváděn, ale je součástí elektretové membrány, viz. Obr. 1.21.

Elektret je nevodivý materiál, který je neustále elektricky nabitý. Pro správnou funkci je v těle mikrofону FET předzesilovač, který vyžaduje napájení.



Obr. 1.21: Struktura elektretového mikrofónu, [22]

Tyto mikrofóny se svojí kvalitou blíží kapacitním mikrofónům, jsou však jednodušší na výrobu. Díky tomu se používají v mobilních telefonech, notebookech a dalších podobných zařízeních.

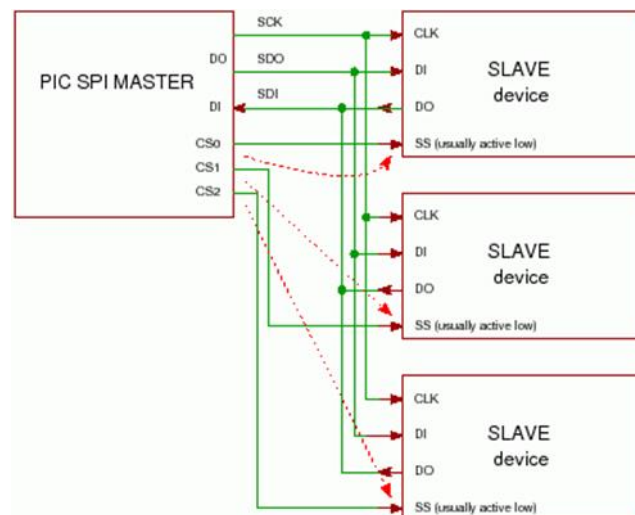
1.10 Sériové komunikační sběrnice

V této podkapitole popíšu tři nejpoužívanější sériové sběrnice, které se běžně používají v elektronických zařízeních a jsou již běžně integrovány téměř v každém mikrokontroléru.

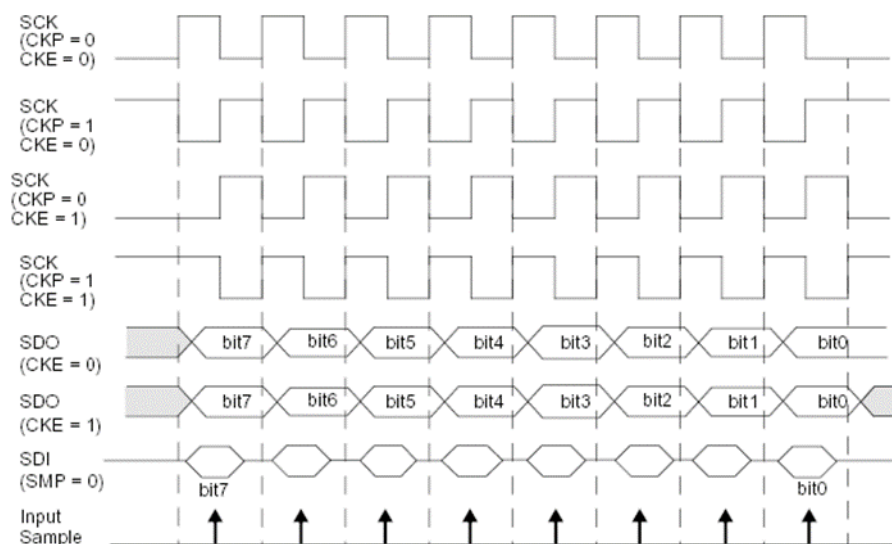
1.10.1 Sběrnice SPI

SPI (*Serial Peripheral Interface*) je sériové komunikační rozhraní, které je oblíbené především pro svoji jednoduchost, a to jak z hlediska hardwaru, tak i po programové stránce. Sběrnice je složena z jednoho řídicího zařízení (master) a více podřízených zařízení (slave), viz. Obr. 1.22. Master generuje hodinový signál, který je rozveden do všech zařízení slave (vodič SCK – *Serial Clock*). Kromě tohoto vodiče je dále master s uzly slave propojen dalšími dvěma vodiči. Ty se označují jako MOSI (*Master Out, Slave In*) a MISO (*Master In, Slave Out*). Jak již názvy vodičů napovídají, každý směr přenosu dat má svůj samostatný vodič, je zde tedy umožněn synchronní obousměrný přenos dat. Problém však nastává při více zařízeních typu slave. Komunikace v jeden časový okamžik může probíhat pouze s jedním tímto zařízením. K tomuto účelu slouží vodič – SSEL (*Slave Select*), kterým se vybírá zařízení pro komunikaci (každý slave musí mít svůj vlastní výběrový vodič).

Samotný protokol komunikace po sběrnici je poměrně jednoduchý, v podstatě se jedná o posuvné registry, viz. Obr. 1.23. Master začne generovat hodinový signál, který synchronizuje vysílané (přijímané) bity na datových vodičích. Hodiny mohou pracovat ve čtyřech režimech (klidová úroveň v log. 1 nebo log. 0, nástupná nebo sestupná hrana), Některá zařízení typu master umožňují nastavit tento režim.



Obr. 1.22: Příklad zapojení SPI sběrnice s více zařízeními slave, [26]

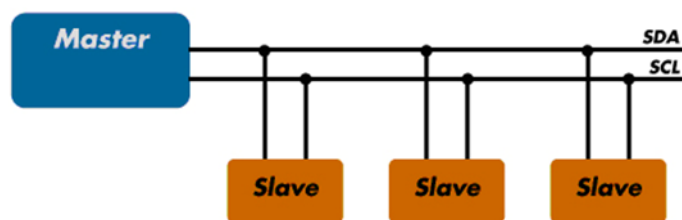


Obr. 1.23: Komunikační protokol sběrnice SPI, [26]

Výhodou této sběrnice je především její jednoduchost (jednosměrné piny) a možnost dosažení velkých přenosových rychlostí (až 100 MHz). Mezi nevýhody lze zařadit například existenci pouze jednoho zařízení typu master, omezení přenosu jen na krátké vzdálenosti nebo nutnost zapojení mnoha pinů při použití více zařízení typu slave.

1.10.2 Sběrnice I2C

Sběrnice I2C (IIC – *Inetr Integrated Circuit*) je v jistých ohledech podobná sběrnici SPI. Opět obsahuje hodinový signál SCL (*Serial Clock*). Datový vodič SDA (*Serial Data*) je zde však pouze jeden a slouží k přenosu dat oběma směry. Řídícím prvkem je opět zařízení typu master, které generuje hodinový signál. Primárně je zde jeden master, ale sběrnice umožňuje připojení i více masterů (tzv. režim multi master). Propojení jednotlivých zařízení zobrazuje Obr. 1.24.

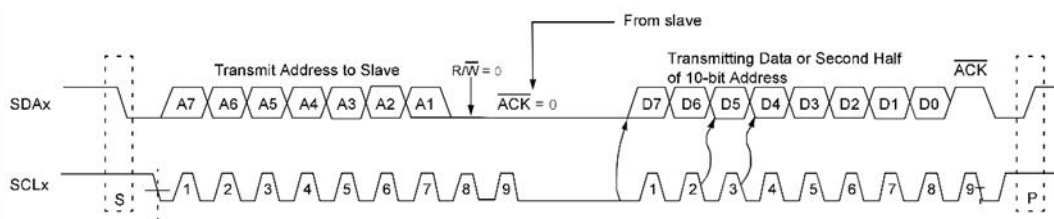


Obr. 1.24: Zapojení zařízení na sběrnici I2C

Přenosový protokol je složitější, než v případě SPI sběrnice. V klidovém stavu je na obou vodičích zajištěna napěťová úroveň log. 1 pomocí pull-up rezistorů zapojených na vodiče sběrnice a napájení. Struktura protokolu je na



Obr. 1.25: Protokol komunikace sběrnice I2C, [27]



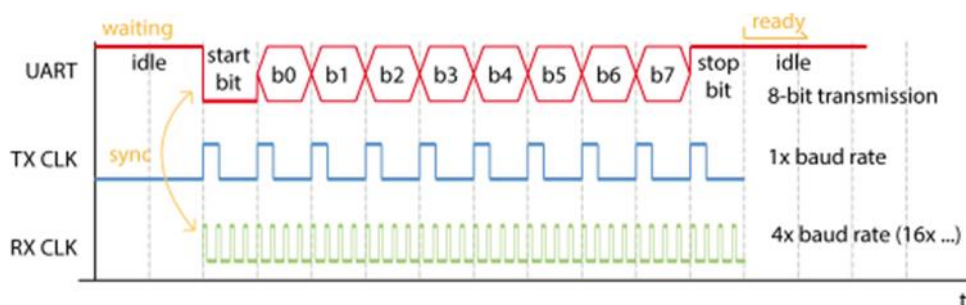
Obr. 1.26: Průběh komunikace sběrnice I2C, [19]

Průběh komunikace na sběrnici I2C znázorňují Obr. 1.25 a Obr. 1.26. Pro zahájení komunikace musí master vygenerovat tzv. start bit (S). Datový vodič přechází do log. 0 zatímco hodinový signál zůstává v log. 1. Tímto dojde k aktivaci všech připojených obvodů slave. Následně master odesílá adresu obvodu, se kterým chce komunikovat. Adresa každého obvodu je dána výrobcem tohoto obvodu (většinou je umožněno nastavení např. jednoho nebo více bitů adresy pomocí pinu, který se připojí k napájení pro log. 1 nebo na zem pro log. 0). Adresa zařízení může být sedmibitová nebo desetibitová. Teoreticky by tak bylo možné připojit až 128 (2^7) resp. 1024 (2^{10}) zařízení. Počet připojitelných zařízení je ale omezen např. kapacitou sběrnice nebo pevně danými adresami. Na jedné sběrnici nemůže existovat více zařízení se stejnou adresou. K adrese je následně přidán ještě bit, který rozlišuje, zda bude docházet k zápisu dat nebo ke čtení (R/W – Read/Write). Po odeslání adresy musí obvod přijímající data odeslat potvrzení – tzv. ACK bit (*acknowledge*). Pokud by toto potvrzení nepřišlo, master by přerušil komunikaci. Následuje odesílání nebo příjem dat, kdy každý byte (8 bitů) musí být potvrzen od přijímající strany. Komunikaci master ukončuje tzv. stop bitem (P), kdy datový vodič přechází z log. 0 do log. 1 zatímco hodinový signál je v log. 1.

1.10.3 USART

USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*) je sériový komunikační protokol, který byl dříve často využíván v sériových portech (RS-232)

u osobních počítačů. Komunikace je zde umožněna pouze mezi dvěma zařízeními. Ta jsou propojena dvěma vodiči – Tx (*transmitted*) pro vysílání dat a Rx (*received*) pro příjem dat. Běžně se využívá asynchronní komunikace, kdy data nejsou synchronizována hodinovým signálem. Data se přenáší v tzv. slovech (*word*). V klidovém stavu je na sběrnici log. 1 a přenos začíná přechodem linky do log. 0 (start bit). Poté následuje série datových bitů (obvykle 5-9, nejčastěji 8 bitů). Datové slovo je pak volitelně doplněno o paritní bit, který slouží k doplnění dat na lichý nebo sudý počet jedniček (lichá, sudá parita). Slovo je zakončeno stop bitem, který opět vrátí sběrnici do klidového stavu. Stop bit je z historických důvodů možné nastavit na délku 1, 1,5 nebo 2 bity. Příklad komunikace s různým nastavením přenosové rychlosti (*baud rate* – počet přenesených bitů za sekundu) je na Obr. 1.27.



Obr. 1.27: Příklad komunikace pomocí USART, [28]

Vzhledem k tomu, že přenos dat není nijak synchronizován, musí obě zařízení mít shodně nastaveny tyto parametry: přenosovou rychlost (*baud rate*), počet bitů v datovém slově, paritu a délku stop bitu.

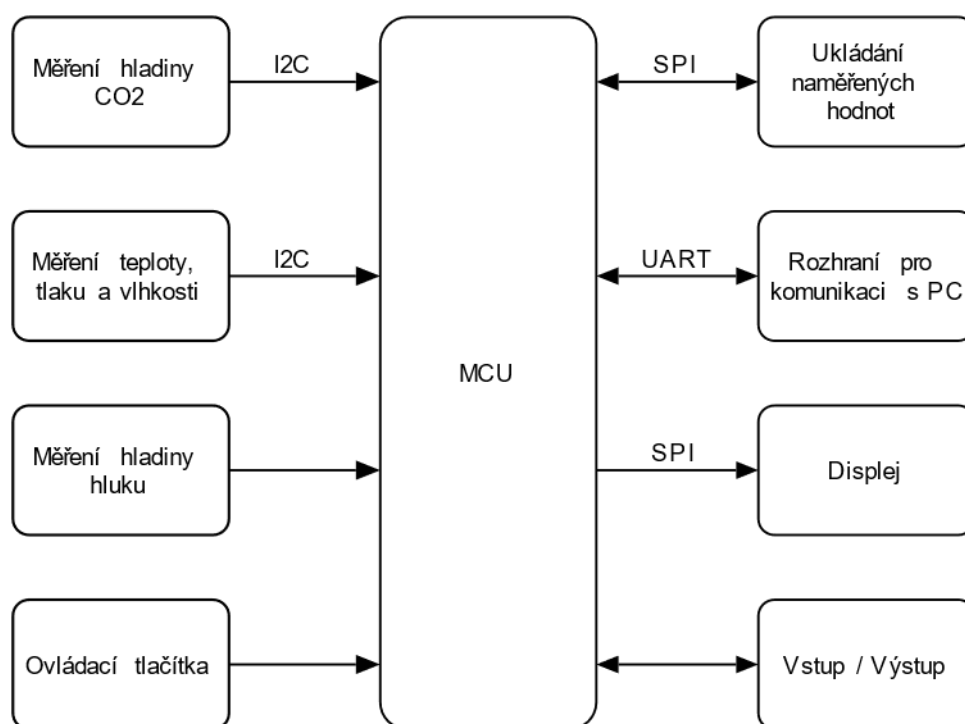
2 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Hlavním cílem navrhovaného zařízení je měření a zobrazení hodnot prostředí v automobilu. Zařízení bude měřit následující veličiny:

- teplotu,
- atmosférický tlak,
- vlhkost,
- hluk.

Další funkcí bude možnost tyto naměřené hodnoty ukládat do paměti a poté následně přenést do počítače.

Vzhledem k tomu, že zařízení je určeno pro provoz v automobilu, kde může být vystaveno vyšším teplotám, ale rovněž i teplotám pod bodem mrazu, je nutné toto vzít v úvahu při návrhu a výběru součástek. Většina dnes běžně dostupných součástek má již teplotní rozsah pro aktivní stav -40 až $+85$ °C, některé jsou schopné pracovat až do $+125$ °C. V návrhu jsem použil součástky s teplotní rozsahem -40 až $+85$ °C, popř. vyšším.



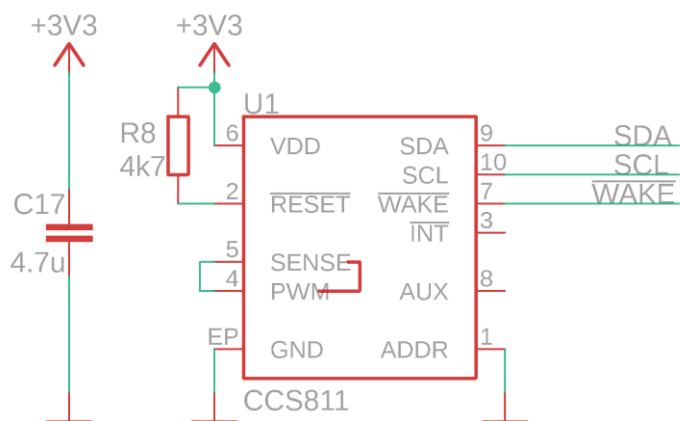
Obr. 2.1: Blokové schéma zařízení

Blokové schéma zařízení je na Obr. 2.1. Hlavním prvkem zařízení je mikrokontrolér. K němu jsou pomocí I2C sběrnice připojeny zvolené senzory zajišťující měření výše uvedených veličin. Hladina hluku je měřena pomocí mikrofону a o zpracování se postará integrovaný A/D převodník. Za účelem interakce s uživatelem je zařízení opatřeno displejem a ovládacími tlačítky. Zapojení tlačítek obsahuje jednoduchý způsob řešení pro potlačení zákmitů k mikrokontroléru jsou připojena na piny umožňující využívat externí přerušování. Displej je připojen pomocí sběrnice SPI a zajišťuje především

zobrazení naměřených hodnot. Dále je zařízení vybaveno pamětí komunikující s mikrokontrolérem přes sběrnici SPI, do které se ukládají naměřené hodnoty. Uložené hodnoty je možné přenést do počítače. K tomuto účelu je v zařízení obvod zajišťující převod mezi USB a UART sběrnici. K napájení celého zařízení je možné využít 12 V zásuvku v autě nebo lze použít napájení z USB sběrnice.

2.1 Měření úrovně oxidu uhličitého

Pro měření koncentrace oxidu uhličitého v prostředí jsem zvolil senzor CCS811. Jeho základní popis je v kapitole 1.4.

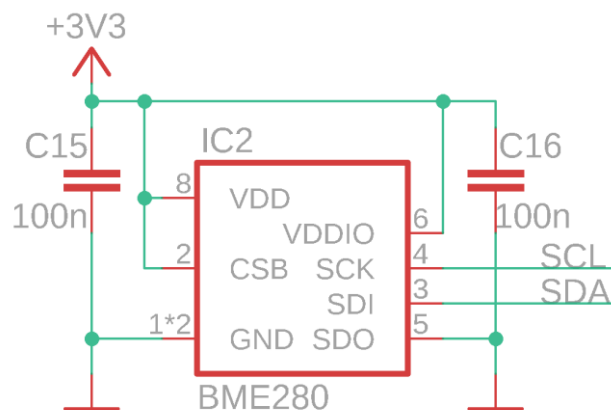


Obr. 2.2: Zapojení senzoru CCS811

Zapojení senzoru CCS811 na Obr. 2.2 jsem provedl podle doporučení výrobce součástky [9]. Senzor komunikuje s mikrokontrolérem přes sběrnici I2C (piny SDA a SCL) a má pevně stanovenou adresu (0x5A), přičemž pomocí pinu 1 je možné nastavit poslední bit této adresy. Před samotnou komunikací se senzorem je nutné provést jeho aktivaci, což se děje pomocí pinu 7 *WAKE*. Senzor dále umožňuje na pinu 3 *INT* vyvolávat přerušení nadřazeného systému, což nebudu v zařízení využívat a tento pin zůstane nezapojený. Stejně tak nebudu využívat funkci na pinu 2 *RESET*, proto je zde zapojen rezistor R8 zajišťující deaktivaci této funkce. Pro piny 4 a 5 požaduje výrobce přímé propojení a pin 8 má zůstat nezapojený. K senzoru je připojen blokovací kondenzátor C17, který zajistí potlačení šumu napájecího napětí.

2.2 Měření teploty, tlaku a vlhkosti

Pro měření teploty, atmosférického tlaku a vlhkosti využiji senzor BME280 popsany v kapitole 1.8. Zapojení senzoru je na následujícím obrázku Obr. 2.3.

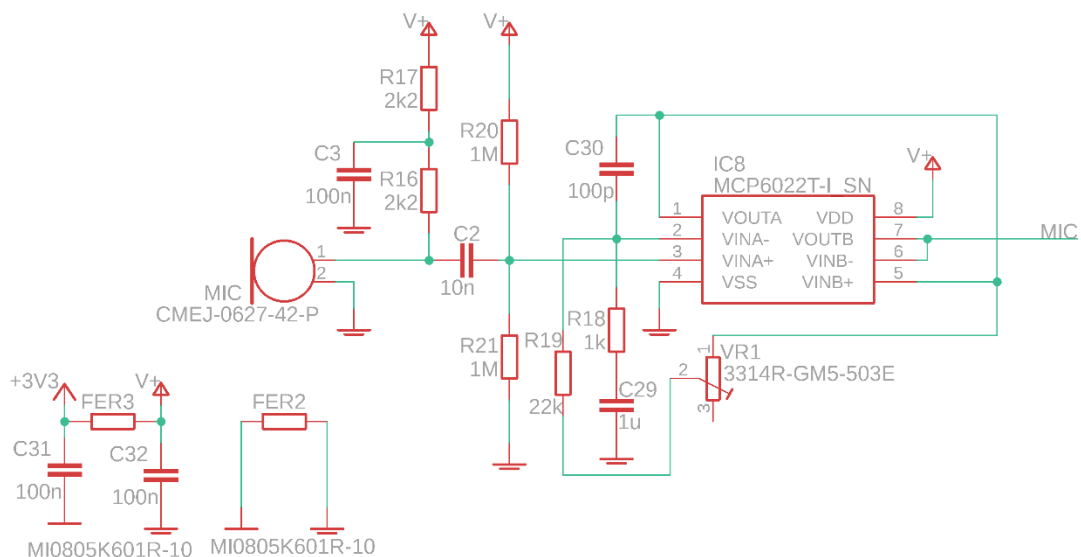


Obr. 2.3: Zapojení senzoru BME280

Zapojení opět vychází z doporučení od výrobce [18]. Senzor může komunikovat po SPI nebo po I2C sběrnici, přičemž jsem zvolil zapojení pro použití I2C sběrnice. Pin 5 SDO při tomto zapojení slouží k nastavení posledního bitu adresy zařízení, která je $0x76$. Napájení součástky je rozděleno na napájení vlastních snímačů (pin 8 VDD) a napájení komunikačního rozhraní (pin 6 VDDIO a v případě zapojení pro I2C i pin 2 CSB). Jelikož v zařízení používám jednotnou napájecí síť, jsou oba vývody připojeny na toto napájení. Nicméně pro každý vývod požaduje výrobce blokovací kondenzátor (C15, C16).

2.3 Měření hladiny hluku

Snímání hladiny hluku zajistí elektretový mikrofon, jehož princip je popsán v kapitole 1.9.2.



Obr. 2.4: Zapojení pro měření hladiny hluku

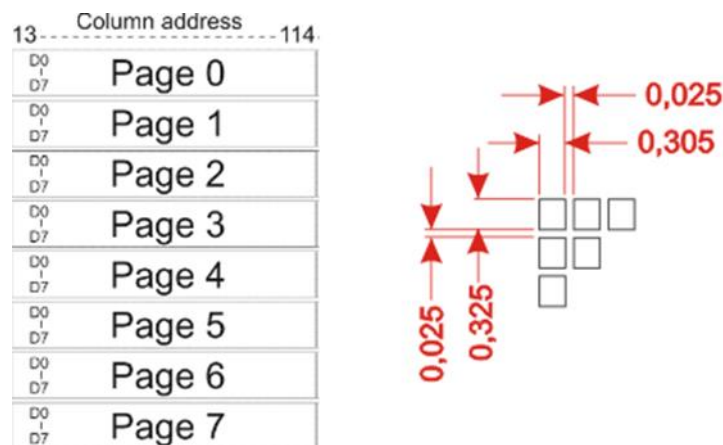
Napájení této části je odděleno pomocí feritových cívek (FER2, FER3), které zajistí

odfiltrování případných rušivých signálů. Výstup mikrofonu je oddělen přes vazební kondenzátor C2, který zajistí oddělení signálu z mikrofonu od jeho napájení. Rezistory R20 a R21 tvoří dělič zajišťující posunutí signálu přibližně do poloviny napájecího napětí. Následně je signál přiveden do integrovaného obvodu MCP6022 (IC8), který obsahuje dva operační zesilovače. První z nich je zapojen jako neinvertující zesilovač. Trimr (VR1) ve zpětné vazbě (VR1) umožňuje měnit zisk zpětné vazby, a tedy i zesílení operačního zesilovače. Druhý operační zesilovač je zapojen jako napěťový sledovač, což impedančně oddělí signál z mikrofonu od vstupu A/D převodníku v mikrokontroléru. [30] [31]

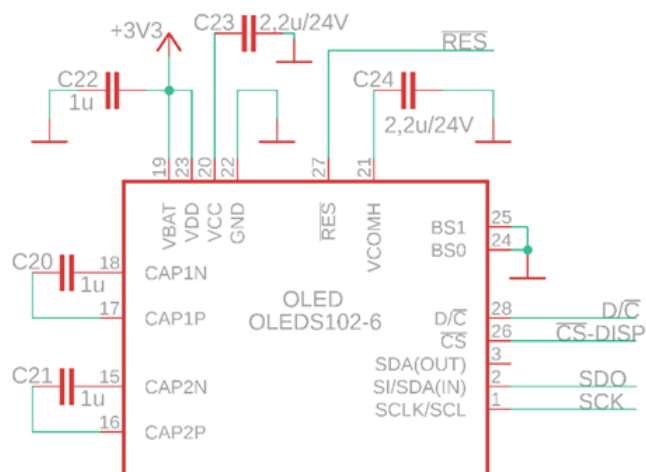
2.4 Displej

Důležitou částí zařízení je displej, který bude zajišťovat interakci s uživatelem a zobrazovat veškeré informace o činnosti zařízení. Pro účely tohoto zařízení jsem vybral grafický displej EAOLED102-6 od společnosti Electronic Assembly. Jedná se o displej typu OLED, kde jsou jednotlivé pixely tvořeny organickými LED diodami. Oproti klasickým LCD displejům nabízí mnohem vyšší kontrast, lepší pozorovací úhly a nižší spotřebu. Nevýhodou je pak samozřejmě vyšší cena.

Displej má rozlišení 102 x 64 bodů. Je ovládán pomocí řadiče SSD1306B, který je standardně určen pro displeje s rozlišením 128 x 64 bodů. Samotná matice obrazových bodů však není zapojena od nuly, ale od třinácté pozice (viz. Obr. 2.5). S tímto je nutné počítat při nastavování pozice a následném přenosu dat. Pokud by nedošlo k tomuto posunu, data pro zobrazení by byla v místě, kde nejsou žádné světelné body a obraz by byl neúplný.



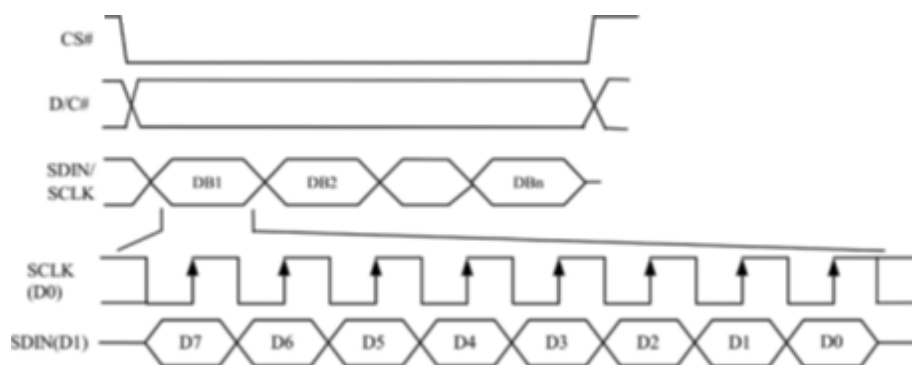
Obr. 2.5: Rozvržení displeje a velikost jednotlivých bodů (v mm), [20]



Obr. 2.6: Zapojení displeje

Zapojení displeje na Obr. 2.6 je opět odvozeno od doporučení výrobce. Displej umožňuje komunikovat pomocí I2C i SPI sběrnice, z čehož jsem zvolil komunikaci po SPI sběrnici.

Displej ke správné funkci vyžaduje napájení 12 V. Výrobce však displej vybavil nábojovou pumpou, a tak je možné displej napájet i z 3,3 V. K činnosti pumpy je nezbytné zapojit kondenzátory mezi piny CAP1N a CAP1P (resp. CAP2N a CAP2P). Pomocí pinů BS0 a BS1 se určuje způsob komunikace. Logické hodnoty 00 nastaví řadič pro čtyřvodičové zapojení SPI sběrnice, hodnota 01 nastaví třívodičové zapojení SPI a hodnoty 10 by nastavily komunikaci pro I2C sběrnici. Čtyřvodičová sběrnice SPI využívá pro komunikaci čtyři vodiče, datový vodič SDO (*Seriál Data Output*), hodinový signál SCK (*Serial Clock*), výběrový pin CS (*Chip Select*) a pin D/C neboli informace o tom, zda se posílají data nebo příkaz (*Data/Command*). Tento poslední vodič je v případě třívodičového zapojení nepoužit. Informace, zdali se jedná o data nebo příkazy se tak musí posílat v datovém bytu a ten pak obsahuje 1 bit navíc (celkem tedy 9).

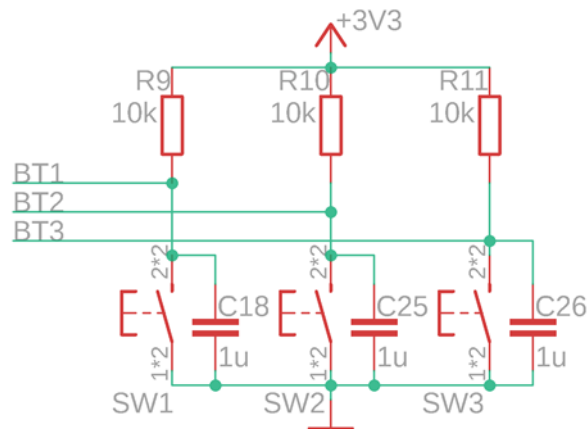


Obr. 2.7: Příklad komunikace s displejem po čtyřvodičové sběrnici SPI, [20]

Pro komunikaci mikrokontroléru s displejem jsem zvolil zapojení pro využití čtyřvodičové sběrnice SPI, kdy příklad této komunikace je znázorněn na Obr. 2.7.

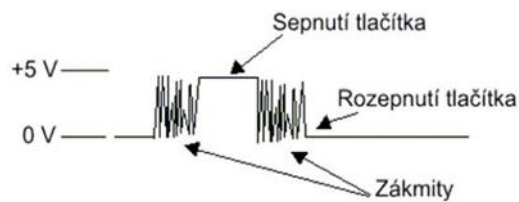
2.5 Ovládací tlačítka

Pro ovládání a nastavení zařízení jsem zvolil tři tlačítka, jejich zapojení je na Obr. 2.8.



Obr. 2.8: Zapojení ovládacích tlačítek

Jelikož se jedná o mechanické kontakty, dochází u nich při spínání a rozpínání ke generování zákmitů, viz. Obr. 2.9. Řídící prvek je pak schopen zareagovat na jeden stisk tlačítka i několikrát.



Obr. 2.9: Příklad průběhu zákmitů při stisku tlačítka, [32]

Zákmity lze vyřešit několika způsoby. Nejčastěji se toto řeší pomocí softwaru, kdy řídící člen např. několikrát otestuje stav na tlačítku a v případě shody vyhodnotí tlačítko jako stisknuté. Další možností, jak se vypořádat se zákmity je hardwarové řešení. Nejjednodušším způsobem je využití RC obvodu. Toto jsem použil pro zapojení tlačítek. Cílem je překlenutí doby zákmitů pomocí nabíjení (vybíjení) kondenzátoru. Ze zapojení vyplývá, že kondenzátor je přes rezistor udržován v nabitém stavu. Dojde-li ke stisku tlačítka kondenzátor se okamžitě vybije (zkratuje). Po puštění tlačítka se kondenzátor začne nabíjet. Doba tohoto nabíjení musí být taková, aby překonala dobu zákmitů.

Maximální nabíjecí proud je dán Ohmovým zákonem:

$$I_0 = \frac{U_{CC}}{R} = \frac{3,3}{10 \cdot 10^3} = 330 \mu A \quad (7)$$

Časová konstanta RC článku se určí jako:

$$\tau = R \cdot C = 10 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 10 \text{ ms} \quad (8)$$

Pro napětí na rezistoru platí:

$$u_R = R \cdot i = U_{CC} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 3,3 \cdot e^{-\frac{t}{0,01}} \quad (9)$$

Průběh napětí na kondenzátoru lze vypočítat z následujícího vztahu:

$$u_C = U_{CC} - u_R = U_{CC} - U_{CC} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = U_{CC} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (10)$$

Detekci tlačítek bude provádět mikrokontrolér, který pro toto využije vstupy pro externí přerušení. Lze mu určit, že bude reagovat na sestupnou hranu signálu. Tzn., že po stisku se musí kondenzátor nabít na takovou úroveň, kterou mikrokontrolér vyhodnotí jako log. 1. Zvolený mikrokontrolér vyhodnocuje log. 1 jako 0,8násobek napájecího napětí. Kondenzátor se na toto napětí nabije za

$$e^{-\frac{t}{\tau}} = 0,2 \Rightarrow t = -\tau \cdot \ln(0,2) = -0,01 \cdot \ln(0,2) = 16 \text{ ms} \quad (11)$$

Zákmity obvykle trvají v řádech několika ms, tato doba tedy bezpečně překlene veškeré zákmity způsobené tlačítky.

2.6 Světelná a akustická signalizace

Pro možnost signalizace překročení naměřených hodnot bude zařízení obsahovat LED diodu pro světelné upozornění (Obr. 2.10) a bzučák zajišťující akustické upozornění. Pro tyto účely jsem zvolil červenou LED diodu v pouzdru o velikosti 0603. Tato dioda má úbytek napětí 2 V a při procházejícím proudu 20 mA dosahuje svítivosti 120 mcd [33]. Hodnotu odporu předřadného rezistoru určím následujícím vztahem:

$$R = \frac{U_{CC} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{3,3 - 2}{20 \cdot 10^{-3}} = 65 \Omega \quad (12)$$

Nejbližší hodnota odporu v rezistorových řadách je $R = 68 \Omega$ a proto volím tuto hodnotu. Proud procházející diodou bude při tomto odporu:

$$I_{LED} = \frac{U_{CC} - U_{LED}}{R} = \frac{3,3 - 2}{68} = 19,12 \text{ mA} \quad (13)$$

LED dioda bude spínána pomocí tranzistoru, aby nedocházelo k přílišnému zatěžování pinů mikrokontroléru. Pro správnou funkci tranzistoru jako spínače je nutné určit hodnotu bázevého rezistoru. Zvolený NPN tranzistor BC846A má proudový zesilovací činitel v rozmezí 110-220 a napětí U_{BE} se pohybuje v rozmezí 580-720 mV [34]. Pro výpočet budu uvažovat středové hodnoty těchto intervalů, tedy $h_{FE} = 165$ a $U_{BE} = 650 \text{ mV}$.

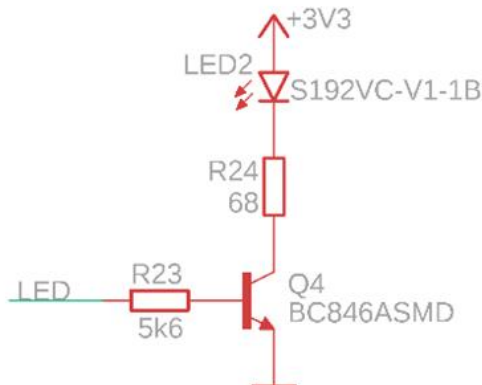
$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{I_{LED}}{h_{FE}} = \frac{19,12 \cdot 10^{-3}}{165} \doteq 116 \mu\text{A} \quad (14)$$

V praxi se tato hodnota zvyšuje 3 až 5krát, aby bylo zajištěno správné sepnutí. Zvýším tedy tuto hodnotu 4krát a následně určím hodnotu rezistoru:

$$I'_B = I_B \cdot 4 = 116 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 464 \mu\text{A} \quad (15)$$

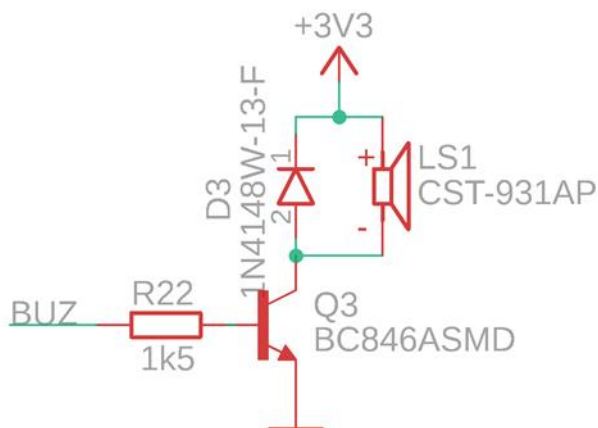
$$R_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I'_B} = \frac{3,3 - 650 \cdot 10^{-3}}{464 \cdot 10^{-6}} = 5711,2 \, \Omega \quad (16)$$

Zvolím nejbližší dostupnou hodnotu odporu rezistoru $R_B = 5,6 \, k\Omega$.



Obr. 2.10: Zapojení signalizační LED diody

Pro akustickou signalizaci jsem zvolil bzučák CST-931AP, jehož zapojení je na Obr. 2.11. Jelikož bzučák obsahuje magnetický obvod, doporučuje výrobce zapojení usměrňovací diody (D3), která slouží jako ochrana v případě naindukovaného napětí [35].



Obr. 2.11: Zapojení akustické signalizace

Hodnotu rezistoru v bázi tranzistoru určím podobně jako výše v případě LED diody. Tranzistor použiji stejného typu a maximální proud protékající bzučákem je 80 mA.

$$I_B = \frac{I}{h_{FE}} = \frac{80 \cdot 10^{-3}}{165} \doteq 484 \, \mu A \quad (17)$$

Tuto hodnotu opět zvýším čtyři krát pro zajištění správného sepnutí:

$$I'_B = I_B \cdot 4 = 484 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 1,93 \, mA \quad (18)$$

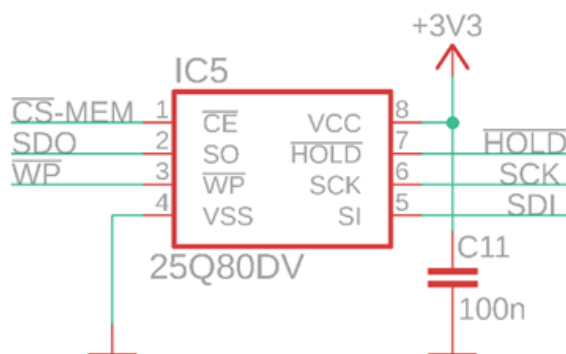
Rezistor by tedy měl mít hodnotu:

$$R_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I'_B} = \frac{3,3 - 650 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-3}} = 1373 \Omega \quad (19)$$

Volím tedy rezistor o hodnotě $R = 1,5 \text{ k}\Omega$.

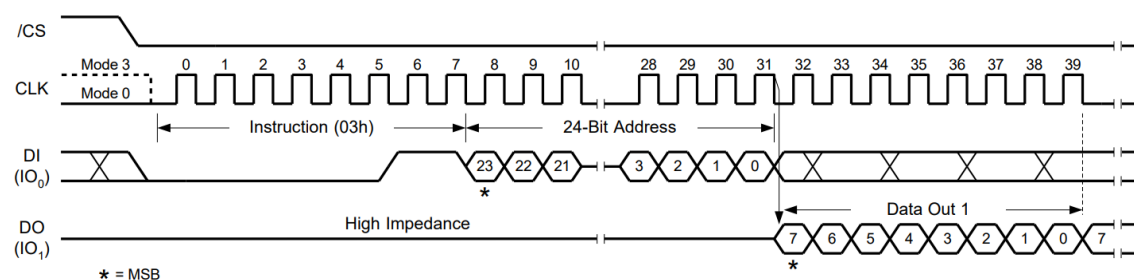
2.7 Zálohování naměřených údajů

Pro možnost ukládání naměřených údajů jsem zvolil pro zařízení paměť W25Q80DV od společnosti Winbond. Jedná se o paměť typu flash komunikující po sběrnici SPI a kapacitě 8 Mb (1 MB). Zapojení paměti, které je na Obr. 2.12, nevyžaduje pro její funkci žádné externí součástky, připojil jsem pouze blokovací kondenzátor C11 k napájecímu napětí.



Obr. 2.12: Zapojení paměti pro zálohu dat

Vnitřní struktura paměti je složena z bloků (*Block*) a sektorů (*Sector*). Každý blok paměti zabírá 64 kB a celkem se v paměti nachází 16 těchto bloků. Blok je složen z 16 sektorů, kde každý má velikost 4 kB a ty se pak dělí na stránky (*Pages*), kde na každou tuto stránku je možné uložit 256 B. Adresa jednotlivých bytů v paměti je složena z 24 bitů (3 B). Na Obr. 2.13 je zakreslen příklad průběhu komunikace s pamětí při požadavku o čtení dat.

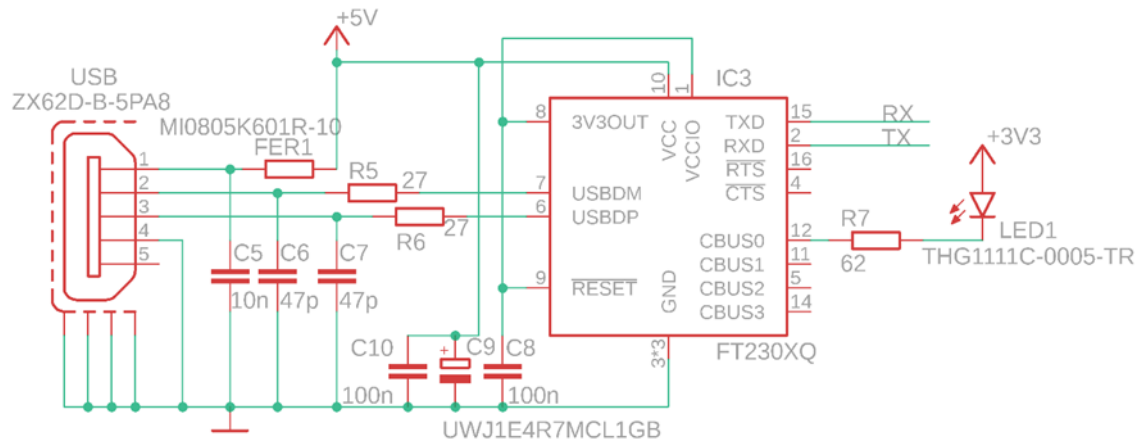


Obr. 2.13: Čtení dat z paměti, [29]

Jednotlivé buňky paměti jsou řešeny tak, že ve smazaném stavu jsou v log. 1. Při zápisu dat se tedy budou měnit jen ty buňky, kde je požadována hodnota log. 0. Paměť při zápisu neumožňuje provést opačný proces (změnit buňku z log. 0 do log. 1). Tato změna je možná pouze při funkci mazání, která provede nastavení všech buněk do hodnoty log. 1. Nejmenší část, kterou lze smazat je sektor o velikosti 4 kB, a dále bloky dlouhé 32 a 64 kB, popř. lze smazat celou paměť.

2.8 Rozhraní pro komunikaci s PC

V dnešní době jsou počítače vybaveny pro komunikaci s ostatními zařízeními výhradně USB porty (pomineme-li bezdrátová spojení). Pro mikrokontroléry však toto rozhraní může být náročné z hlediska výkonu nebo potřebné paměti. Tvorba softwarového vybavení by rovněž byla komplikovanější, a proto jsem se rozhodl využít externí součástky, která zajistí USB komunikaci. Zvolil jsem obvod FT230XQ od společnosti FTDI. Mikrokontrolér bude s tímto obvodem komunikovat po sběrnici UART, která je popsána v kapitole 1.10.3.



Obr. 2.14: Zapojení komunikačního rozhraní

Pro připojení k počítači je zařízení vybaveno mikro USB konektorem, za nímž následuje již zmíněný obvod FT230XQ v pouzdru QFN (Quad Flat No-leads). Jeho zapojení na Obr. 2.14 jsem provedl podle doporučení výrobce [25]. Podobně jako senzor BME280 má i tento obvod dvoje napájení. K hlavnímu napájení obvodu (VCC) je možné využít přímo USB rozhraní (+5 V), přičemž feritová cívka FER1 zajišťuje zamezení rušení. K napájení vstupně výstupních částí (VCCIO) je možné připojit maximální napájecí napětí 3,3 V. Pro zjednodušení zapojení již obvod obsahuje zdroj s regulovaným napětím o této hodnotě (3V3OUT) a to je tedy využito jako zdroj napájecího napětí pro tuto část obvodu. Na datových pinech USB sběrnice (USBDM, USBDP) výrobce požaduje rezistory o hodnotě odporu $27\ \Omega$ (R5, R6) a blokovací kondenzátory (C6, C7). Dále obvod umožňuje využití čtyř konfigurovatelných vývodů, kdy jsem na jeden tento vývod připojil diodu, která bude signalizovat probíhající komunikaci.

2.9 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér bude hlavním řídicím členem celého zařízení. Požadavky na něj nejsou příliš náročné, ale vzhledem k výše uvedeným součástem požadují od mikrokontroléru následující: I2C, SPI a UART sběrnici, A/D převodník, dostatečný počet I/O pinů a dostatečně velkou paměť pro uložení programu. Dále vzhledem k ukládání dat do paměti je vhodné, aby obsahoval RTC (*Real Time Clock*) obvod.

S ohledem na tyto požadavky jsem zvolil 8bitový mikrokontrolér PIC18F46J11 v pouzdru TQFP44 (*Thin Quad Flat Package*) od společnosti Microchip. Tento kontrolér

Pro vytvoření přesného referenčního napětí pro tento převodník jsem zapojil obvod IC7 sloužící jako napěťová reference. Baterie BATT je baterie typu CR2032 o napětí 3 V a udržuje chod RTCC obvodu, pokud dojde k odpojení napájení. Diody D1 zajišťují přepnutí tohoto napájení [21].

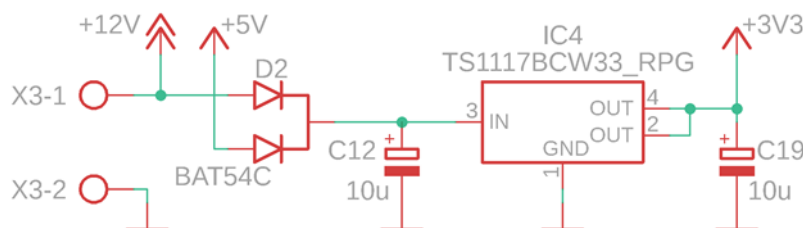
2.10 Napájení

Jak je uvedeno výše, k napájení je možné využít automobilovou zásuvku o napětí 12 V anebo lze zařízení napájet přes USB rozhraní. Veškeré obvody v zařízení jsou přizpůsobeny napájecímu napětí 3,3 V, a tak je nutné zajistit toto stabilizované napájení. Spotřebu jednotlivých částí zařízení shrnuje Tab. 2.2.

Tab. 2.2: Požadavky na napájení jednotlivých částí zařízení

Předpokládaná spotřeba				
Součástka	Označení	Max. spotřeba [mA]	Typická spotřeba [mA]	Poznámka
MCU	IC1	5,4	2,8	Interní oscilátor 8 MHz, 85 °C
BME280	IC2	0,714	0,714	Při měření tlaku
CCS811	U1	54	26	Během měření, při napájecím napětí 1,8V
MCP6022	IC8	30	1	
FT230QX	IC3	8,3	8	
Displej	OLED	32	13	V závislosti na počtu rozsvícených pixelů
LED	LED1	20	5	
	LED2	25	20	
Bzučák	LS1	80	80	
Paměť	IC5	25	20	Během zápisu/mazání dat
Celkem		280,414	176,514	

Pro výběr vhodného stabilizátoru je nutné přihlídnout ke vstupním napětím a výše uvedené spotřebě, která je platná při plném provozu všech částí zařízení. Vzhledem k těmto požadavkům jsem zvolil lineární stabilizátor TS1117B v pouzdru SOT-223, který na svůj vstup umožňuje připojit až 15 V a je schopen na výstupu dodávat proud až 1 A.



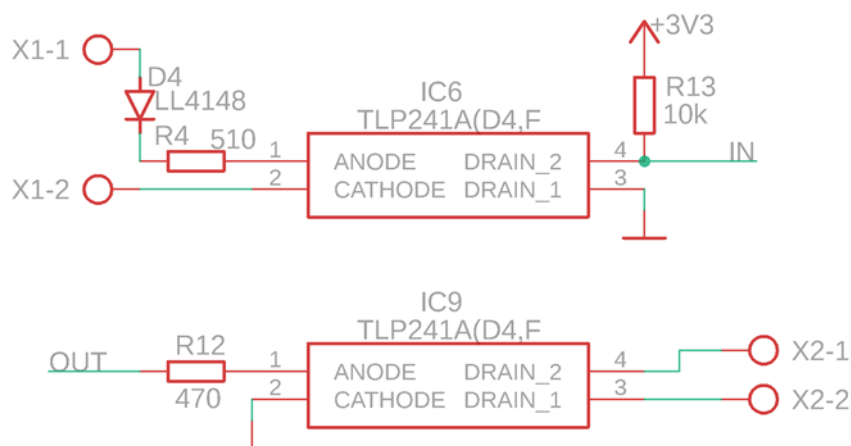
Obr. 2.16: Zapojení lineárního stabilizátoru

Zapojení napájecí části je na Obr. 2.16. K možnosti napájet zařízení jak

z automobilové 12 V zásuvky, tak i z USB jsem zařadil na vstup stabilizátoru diodový člen D2 umožňující toto dvojí napájení. Stabilizátor pro správnou funkci požaduje na svém vstupu minimální napětí 4,8 V, proto je pro možnost napájení z USB (+5 V) nutné zvolit Schotkyho diody, které mají běžné úbytek napětí přibližně 0,2 V a nedojde tak k přílišnému úbytku vstupního napětí.

2.11 Galvanicky oddělený vstup a výstup

Pro budoucí možnost rozšíření funkcí navrhovaného zařízení jsem do návrhu zahrnul galvanicky oddělený vstup a výstup. Tento vstup/výstup by mohl být například spínán podle jisté teploty nebo v určitém čase.



Obr. 2.17: Zapojení galvanicky odděleného vstupu a výstupu

Základem zapojení na Obr. 2.17 jsou optočleny TLP241A a jejich základní vlastnosti shrnuje Tab. 2.3.

Tab. 2.3: Základní vlastnosti obvodu TLP241A [36]

Parametr	Hodnota
Výstupní napětí	40 V
Výstupní proud	2 A
Proud spínací LED diodou	3 mA
Odpor v zapnutém stavu	150 mΩ
Izolační napětí	5000 V _{rms}

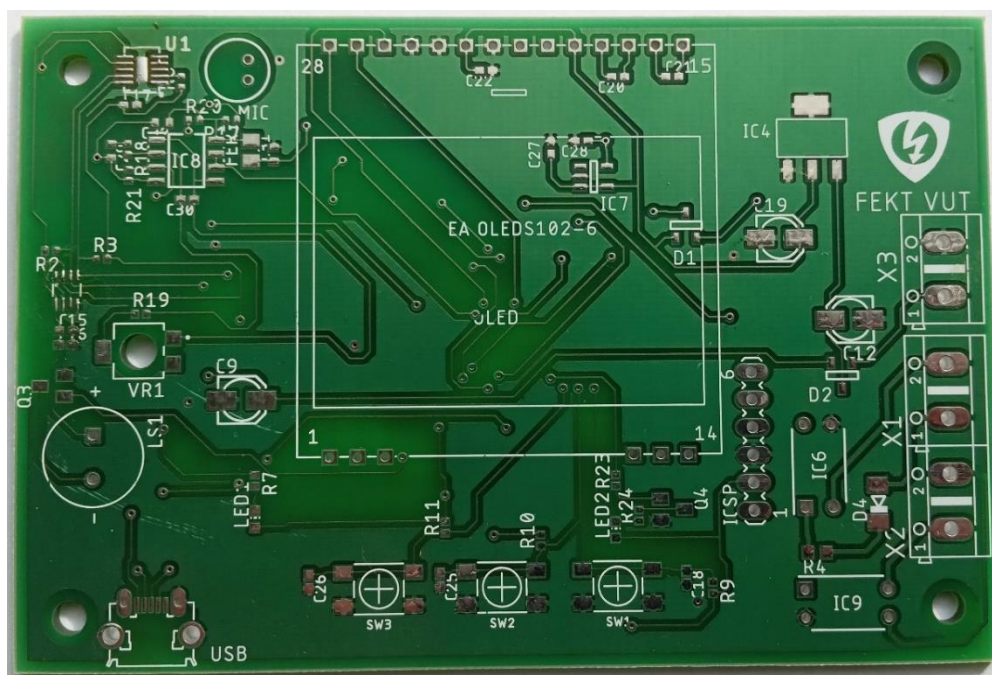
3 REALIZACE ZAŘÍZENÍ

Pro realizaci zařízení bylo nutné navrhnout desku plošných spojů. Pro tento účel jsem využil softwaru Eagle ve verzi 9.5.1 a provedl jsem návrh dvoustranné desky plošných spojů o rozměrech 9 x 6 cm. Použité rezistory a kondenzátory jsem volil ve velikosti 0402 a šířky spojů 0,254 mm.

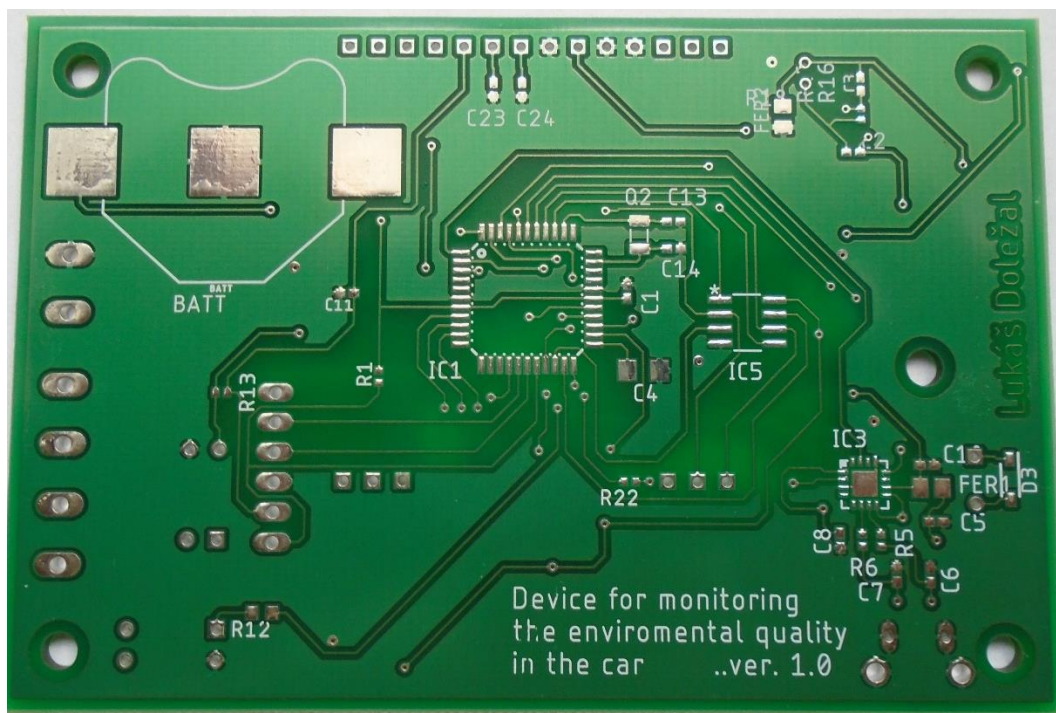
Desku plošných spojů jsem si nechal vyrobit od brněnské společnosti Apama s.r.o. Parametry vyrobené desky jsou následující:

- Materiál: FR4
- Tloušťka základního materiálu: 1,6 mm
- Tloušťka plátované mědi: 18 μm
- Oboustranná prokovená deska
- Oboustranná zelená nepájitvá maska a bílý servisní potisk
- Povrchová úprava: bezolovnatý HAL (*Hot Air Leveling*)

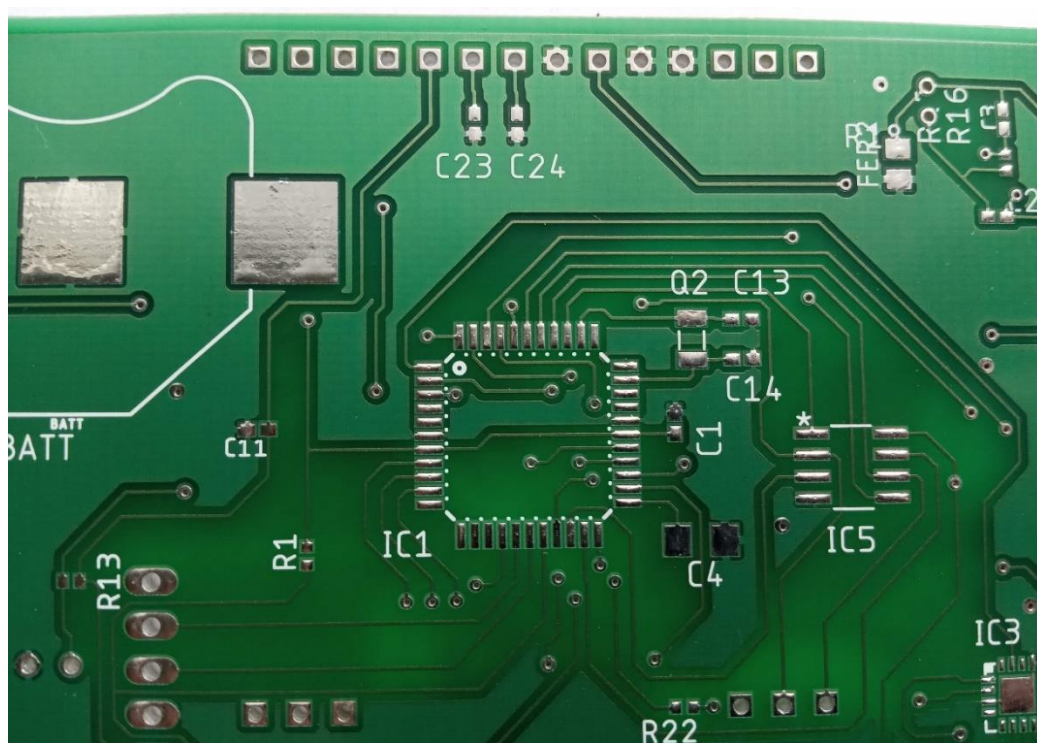
Deska splňuje směrnici RoHS, tedy neobsahuje žádné nebezpečné látky. Toto rovněž splňují i veškeré součástky, takže je možné takto označit celé zařízení.



Obr. 3.1: Vyrobená deska plošných spojů – vrchní strana



Obr. 3.2: Vyrobená deska plošných spojů – spodní strana



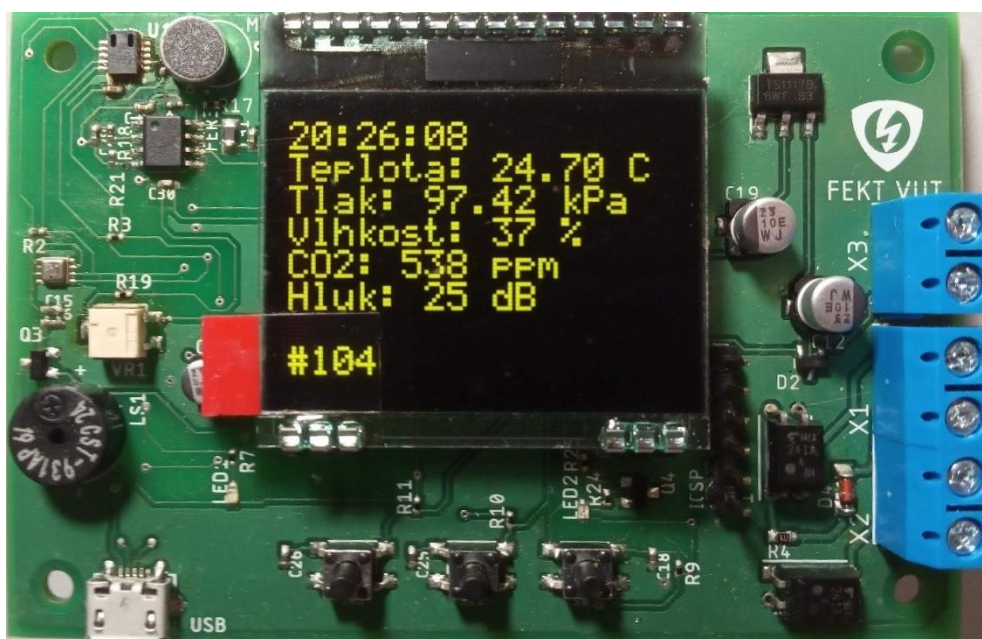
Obr. 3.3: Detailní pohled na kvalitu vyrobené desky

4 FIRMWARE ZAŘÍZENÍ

Pro vytváření firmwaru zařízení jsem použil vývojové prostředí MPLAB X IDE ve verzi 5.30 od společnosti Microchip. Firmware je vytvořen v jazyce C s pomocí překladače XC8 ve verzi 1.35. Pro nahrání přeloženého kódu do paměti mikrokontroléru, pomocí sériového programovacího rozhraní ICSP, jsem použil programátor MPLAB Snap.

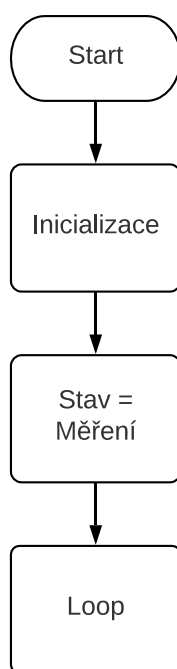
4.1 Popis firmwaru

Po připojení napájení proběhne inicializace potřebných komponent mikrokontroléru (oscilátor, I/O piny, I2C, SPI, A/D, UART, RTCC, časovač, přerušení) včetně inicializace dalších součástek (senzory a displej). Po této konfiguraci přejde zařízení do režimu měření, kdy se na displeji vypíší hodiny, naměřené údaje ze senzorů a počet uložených záznamů, viz Obr. 4.1. Veškeré další reakce (obnova měřených údajů, stisk tlačítka, ukládání dat) jsou realizovány pomocí přerušení. V režimu měření bude reagovat pouze třetí tlačítko, které způsobí přepnutí do režimu menu, a to se vypíše na displeji. Teď je možné pomocí prvních dvou tlačítek vybrat požadovanou položku a třetím tlačítkem ji potvrdit. Tímto opět dojde k přepnutí do vybraného režimu.

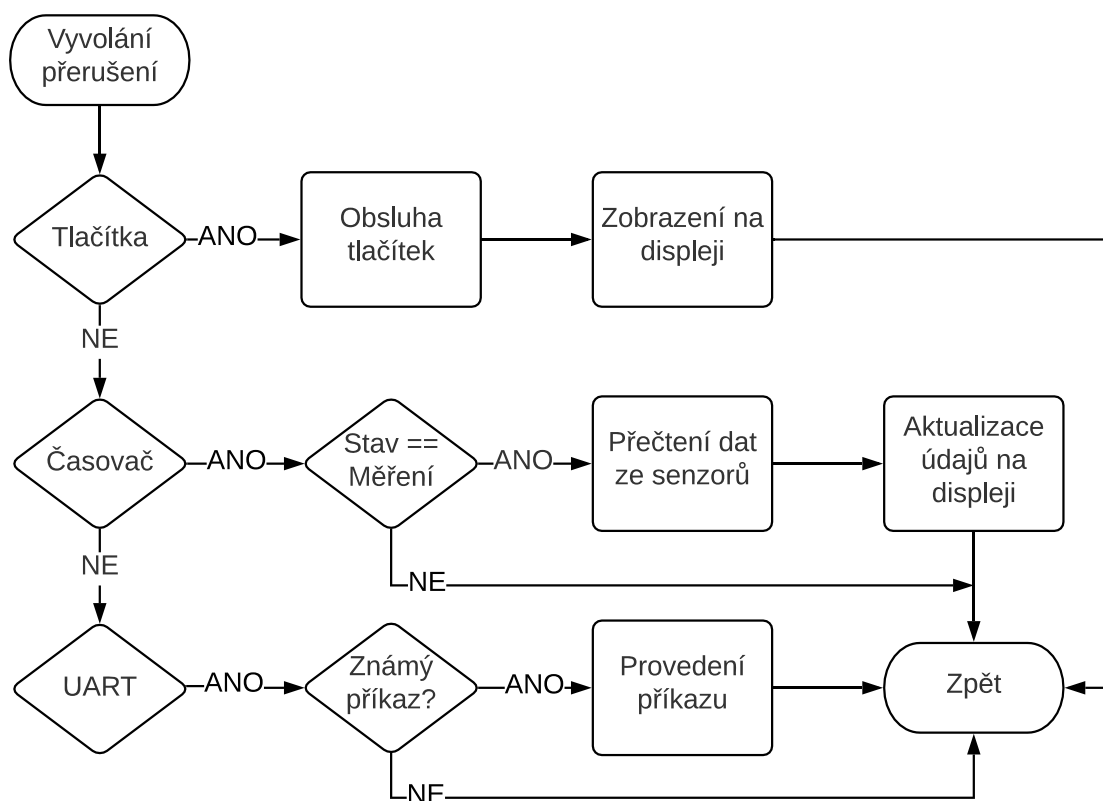


Obr. 4.1: Pohled na zařízení

Diagram popisující hlavní smyčku programu je na Obr. 4.2. Jak je uvedeno výše, proběhne inicializace a přepnutí do stavu měření a následně program skončí v nekonečné smyčce.



Obr. 4.2: Hlavní smyčka programu



Obr. 4.3: Systém přerušení

Průběh programu při vyvolaném přerušení zobrazuje Obr. 4.3. Nejdříve dojde k vyhodnocení zdroje, který vyvolal přerušení (tlačítka, časovač nebo UART) a následně

v závislosti na aktuálním stavu zařízení (měření, menu) se provede daný úkon.

Časovač je spouštěn každou sekundu, aby mohl být aktualizován čas na displeji. Každých deset sekund dojde k aktualizaci naměřených údajů a každou minutu se uloží tyto údaje do paměti. Popis příkazů z UART sběrnice bude popsán níže.

4.2 Ukládání dat

Struktura použité paměti je popsána v kapitole 2.7. Zde se zaměřím na popis, jak se data budou ukládat do paměti a následně z ní opět číst. Vzhledem k tomu, že jsem udělal chybu při fyzickém zapojení pinů (přehozené datové piny SDO a SDI), není tedy možné použít hardwarovou SPI sběrnici na mikrokontroléru. Ta se však používá pro komunikaci s displejem. Tzn, že pokud se bude komunikovat s pamětí, musí se vypnout přerušení (aby se nespustil zápis dat na displej), vypnout MSSP jednotka a přenastavit vstupně výstupní piny mikrokontroléru. Jakmile se dokončí komunikace s pamětí provedené přenastavení se opět vrátí do původního stavu. Uložený záznam bude mít strukturu znázorněnou v Tab. 4.1.

Tab. 4.1: Struktura záznamu dat v paměti

název	hod	min	sec	den	mes	rok	tep	tlak	vlh	co2	hluk	,#'	,#'
délka [B]	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1

Desetinná čísla (teplota a tlak) se ukládají tím způsobem, že se vynásobí číslem 100 (pro zajištění přesnosti na dvě desetinná místa) a převedou se na celočíselnou hodnotu, která je pak zapsána. Celková délka jednoho uloženého záznamu je 14 B. Na jednu stránku paměti je možné zapsat 256 B, a proto jsem jeden záznam doplnil dvěma znaky na celkovou délku 16 B. Toto zajistí, že na jedné stránce bude vždy celý záznam a nebude třeba tento záznam dělit mezi dvě stránky. Zároveň pomocí těchto dvou posledních znaků je možné určit, že jsou již v paměti uložená data (během inicializace se provede čtení paměti pro zjištění počtu uložených záznamů).

4.3 Ovládání zařízení

Ovládání je možné pomocí tlačítek, nebo částečně pomocí příkazů z připojeného PC. Jednotlivá tlačítka plní následující funkce (zleva): posun dolů (+), posun nahoru (-), potvrzení (OK) a jsou využívána pro pohyb v menu a nastavení hodnot. Z PC je možné provést následující příkazy:

r – přečtení dat

z – zobrazení počtu uložených záznamů

h - zobrazení nápoředy



Obr. 4.4: Menu zařízení

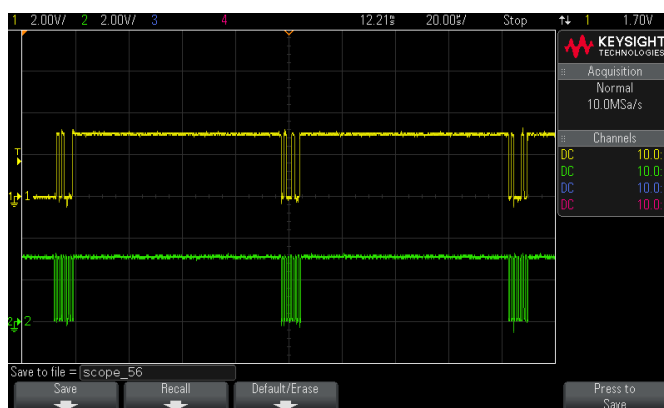
Položka *Nast. upozorneni* slouží k nastavení naměřené teploty a úrovně CO₂, při které má dojít ke spuštění akustické a optické signalizace. *Prenos dat* spustí postupné načítání uložených záznamů a jejich odesílání do PC. Po tomto přenosu dojde k celkovému smazání paměti.

5 TESTOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ

V rámci ověření funkčnosti zařízení jsem provedl měření na osciloskopu, abych ověřil správnou komunikaci s jednotlivými senzory, viz. Obr. 5.1.



Obr. 5.1: Komunikace po I2C sběrnice se senzory BME280 a CCS811

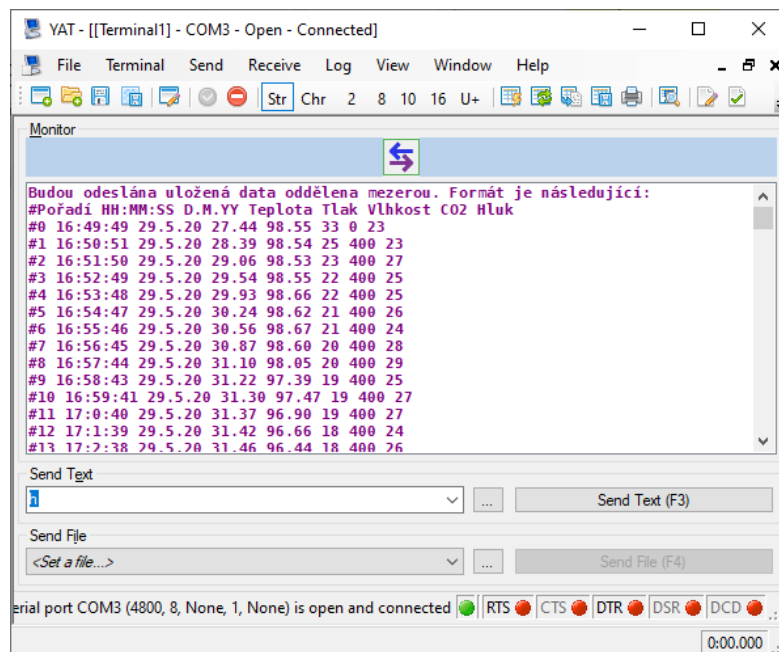


Obr. 5.2: Komunikace s pamětí po SPI sběrnici

Obr. 5.2 zobrazuje reálný průběh komunikace mikrokontroléru a paměti. Jak jsem uvedl v kapitole 4.2, tato komunikace nevyužívá integrovanou hardwarovou jednotku, ale vlastní softwarové řešení.



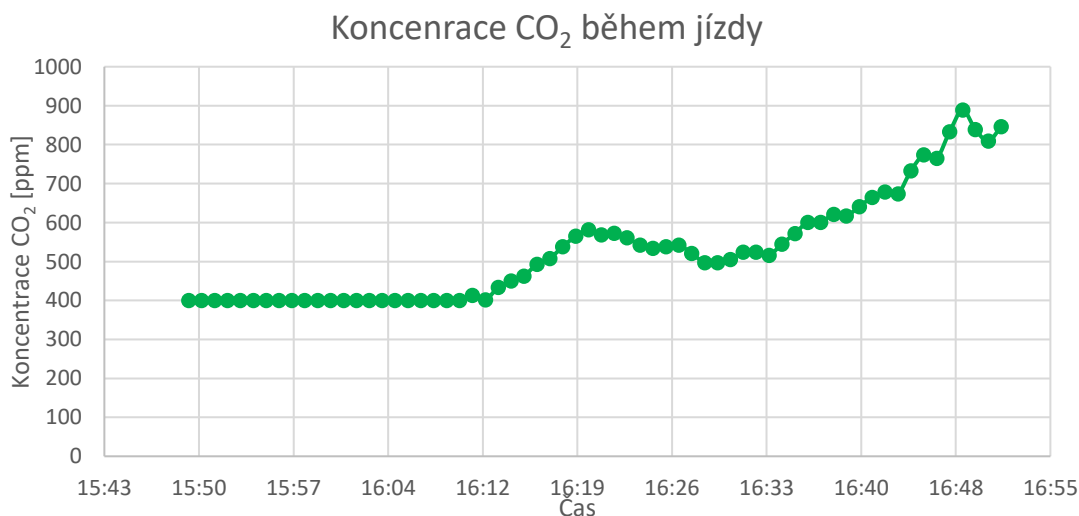
Obr. 5.3: Umístění zařízení v automobilu



Obr. 5.4: Přenos uložených dat do PC

Pro přenos dat mezi zařízením a PC je možné použít libovolný terminál umožňující připojení virtuálního COM portu, viz. Obr. 5.4: Přenos uložených dat do PC. Přenosová rychlost dat je 4800 bps (bit per second, bitů za sekundu), přenosový rámeček má 8 bitů a neobsahuje paritní bit. Přenos je zakončován 1 stop bitem.

Po přenesení dat do PC je možné s nimi libovolně pracovat. Jako příklad možného zpracování dat uvádím Obr. 5.5: Naměřená koncentrace oxidu uhličitého během jízdy, který zobrazuje naměřenou koncentraci oxidu uhličitého během přibližně hodinové jízdy. V první části grafu je vidět konstantní průběh na hodnotě 400 ppm, což je minimální možná hodnota, kterou je senzor schopen změřit. Je tedy možné, že skutečná hodnota je ve skutečnosti ještě nižší. V čase 16:11 jsem vypnul ventilaci ve vozidle a téměř ihned začalo docházet k postupnému nárůstu úrovně oxidu uhličitého.



Obr. 5.5: Naměřená koncentrace oxidu uhličitého během jízdy

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout zařízení, které by monitorovalo vnitřní prostředí v automobilu a umožnilo i následnou analýzu změřených hodnot.

V úvodu práce jsem se zaměřil na popis principů měření veličin prostředí, které měly být zařízením monitorovány. Popsal jsem zde principy senzorů pro měření koncentrace plynů, následně měření teploty, atmosférického tlaku a vlhkosti. Jako součást tohoto úvodu jsem zahrnul i popis zvolených senzorů a popis sériových rozhraní, které se v zařízení používají. V další části jsem provedl popis samotného návrhu zařízení z hlediska hardwaru. Popsal jsem jednotlivé části zařízení a jejich obvodové zapojení a uvedl jejich základní parametry. Další část práce popisuje parametry vyrobené desky plošných spojů. V následující části jsem popsal vytvořený firmware, který zajišťuje veškeré funkce zařízení. Je zde popsána jeho funkce a detailněji rozebrány některé části. Poslední kapitola popisuje testování a ověření funkce zařízení.

Realizované zařízení umožňuje měřit teplotu, atmosférický tlak, vlhkost vzduchu, úroveň oxidu uhličitého a hladinu hluku v kabině automobilu. Veškeré naměřené hodnoty jsou zobrazovány pomocí OLED displeje, což zajišťuje dobrou čitelnost i za slunného dne. Zařízení rovněž umožňuje nastavit hodnoty teploty a úrovně oxidu uhličitého, při které má být spuštěna vizuální a akustická signalizace upozorňující uživatele na překročení těchto mezí. Dále zařízení ukládá změřené hodnoty do paměti včetně časového údaje, aby bylo možné přesně identifikovat, kdy byly tyto hodnoty naměřeny. Veškeré uložené údaje je možné přes USB rozhraní přenést do počítače a zde je libovolně analyzovat a vyhodnocovat.

Cílem dalšího pokračování na tomto projektu je úprava vytvořeného firmwaru, převážně z hlediska optimalizace kódu pro použitý mikrokontrolér, ale také přidání dalších funkcí. Pro příklad by zde mohly být širší možnosti nastavení, třeba možnost určit, zda se budou nebo nebudou ukládat data, popř. v jakém časovém intervalu. Dále například zprovoznění galvanicky odděleného vstupu a výstupu a možnosti jeho nastavení. Vzhledem k použitému grafickému displeji je možné provést i změny v oblasti zobrazování údajů.

I když je navržené a realizované zařízení ve fázi prototypu a jeho uchycení v automobilu není zdaleka ideální, splňuje zadání bakalářské práce a může sloužit jako velmi důležitá součást zajišťující komfort a bezpečnost cestujících v osobním automobilu.

LITERATURA

- [1] VOJÁČEK, A. *Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 1. Co sledovat a měřit?* [online]. 2.1.2019 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-1-co-sledovat-a-merit.html>
- [2] Oxid uhličitý. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/oxid_uhlicity.pdf
- [3] VOJÁČEK, A. *Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 2. Jak ji měřit?* [online]. 15.1.2019 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-2-jak-ji-merit.html>
- [4] Electrochemical Gas Sensors. *Membrapor* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.membrapor.ch/electrochemical-gas-sensors/>
- [5] VOJÁČEK, A. *LMP91000 = AFE Systém pro realizaci chemických snímačů* [online]. 22.1.2011 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/lmp91000-afe-system-pro-realizaci-chemickych-snimacu>
- [6] VOJÁČEK, A. *Co je to PID senzor ?* [online]. 15.3.2010 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/co-je-pid-senzor>
- [7] NDIR explained. *Edaphic Scientific* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.edaphic.com.au/knowledge-base/articles/gas-articles/ndir-explained/>
- [8] RÜFFER, Daniel, Felix HOEHNE a Johannes BÜHLER. New Digital Metal-Oxide (MOx) Sensor Platform. *The National Center for Biotechnology Information* [online]. 31.3.2018 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5948493/>
- [9] Ams [online katalogový list]. *CCS811* ©2019 [cit. 3.12.2019]. Dostupné z: https://ams.com/documents/20143/36005/CCS811_DS000459_7-00.pdf/3cfdaea5-b602-fe28-1a14-18776b61a35a
- [10] AIR QUALITY 3 CLICK. *MikroElektronika* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.mikroe.com/air-quality-3-click>
- [11] VOJÁČEK, A. *Přehled principů el. měření teploty - 1. díl* [online]. 24.6.2014 [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>
- [12] *Měření teploty - kovové odporové senzory teploty* [online]. 20.5.2004 [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>
- [13] *Měření teploty* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k43-tepl.htm#k4332>
- [14] TECHNICKÉ INFORMACE: Termočláňkové snímače teploty. *GÜNTHER CZ* [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.guenther.eu/104aa1c8-b89c-920e-3949-59f3d93b3bea?Edition=cz#&gid=1&pid=1>
- [15] *Měření tlaku* [online]. [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4-ram.htm>
- [16] Ing. MAREŠ, Luděk. *Vlhkost vzduchu a její měření* [online]. 13.3.2006 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3137-vlhkost-vzduchu-a-jeji-mereni>

- [17] BME280. Mouser Electronics Inc. [online]. [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: https://cz.mouser.com/ProductDetail/Bosch-Sensortec/BME280?qs=2OnyuXx6vpj2fK9HX7qb3g%3D%3D&gclid=Cj0KCQiAz53vBRCpARIsAPsz8UFazVIS9eXa4Ru7uravwZP5TotthfRFT5thb9F9uetAOyubrcbDT0aAiTLEALw_wcB
- [18] Bosh [online katalogový list]. BME280 ©2018 [cit. 4.12.2019]. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/783/BST-BME280-DS002-1509607.pdf>
- [19] Microchip Technology Inc. [online katalogový list]. PIC18F46J11 ©2011 [cit. 4.12.2019]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39932D.pdf>
- [20] Elektronik Assembly GmbH [online katalogový list]. EA OLEDS102-6 ©2019 [cit. 4.12.2019]. Dostupné z: <https://www.lcd-module.de/fileadmin/pdf/grafik/oleds102-6.pdf>
- [21] Microchip Technology Inc. [online]. PIC® Microcontroller Low Power Tips 'n Tricks [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/01146b_chapter%202.pdf
- [22] TYPY MIKROFONŮ. ADM magazín [online]. 2019, 25.3.2017 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://admmagazin.cz/mikrofony-01-typy-mikrofonu/>
- [23] Zvládnete montáž OLED displeje na DPS za 2 sekundy? SOS electronic [online]. 19.2.2019 [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: <https://www.soselectronic.cz/articles/electronic-assembly/zvladnete-montaz-oled-displeje-na-dps-za-2-sekundy-2186>
- [24] ING. CENTNEROVÁ, Lada. Tepelná pohoda a nepohoda [online]. 13.12.2000 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [25] Future Technology Devices International Limited [online katalogový list]. FT230X ©2016 [cit. 4.12.2019]. Dostupné z: https://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT230X.pdf
- [26] TIŠNOSVKÝ, P. Externí sériové sběrnice SPI a I²C. Root.cz [online]. 30. 12. 2008 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbornice-spi-a-i2c/>
- [27] TIŠNOVSKÝ, P. Komunikace po sériové sběrnici I²C. Root.cz [online]. 8.1.2009 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbornici-isup2supc/>
- [28] UART [online]. 2.4.2014 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <http://src.athaj.cz/teaching/rev/uart>
- [29] WINBOND ELECTRONICS CORPORATION [online katalogový list]. W25Q80DV ©2015 [cit. 2020-19-05]. Dostupné z: https://www.winbond.com/resource-files/w25q80dv_revq_07212015.pdf
- [30] BEZSTAROSTI, J. Operační zesilovače polopatě (2.). RoboDoupě: Web nejen o robotice [online]. 24.6.2016 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2016/operacni-zesilovace-polopate-2/>
- [31] MIC 2 CLICK. MikroElektronika [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.mikroe.com/mic-2-click>
- [32] Ošetření spínacích kontaktů: aneb klávesnice, rotační enkodéry, jazýčková relé, mikrospínače, nárazové spínače, snímače náklonu a vibrací. Actrl.cz: Arduino, a vše kolem [online]. 27.2.2016 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <http://actrl.cz/blog/index.php/2016/osetreni-spinacich-kontaktu/>
- [33] Lucky Light Electronics Co., Ltd. [online katalogový list]. S192VC-V1-1B ©2006 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.960-501.1.pdf>

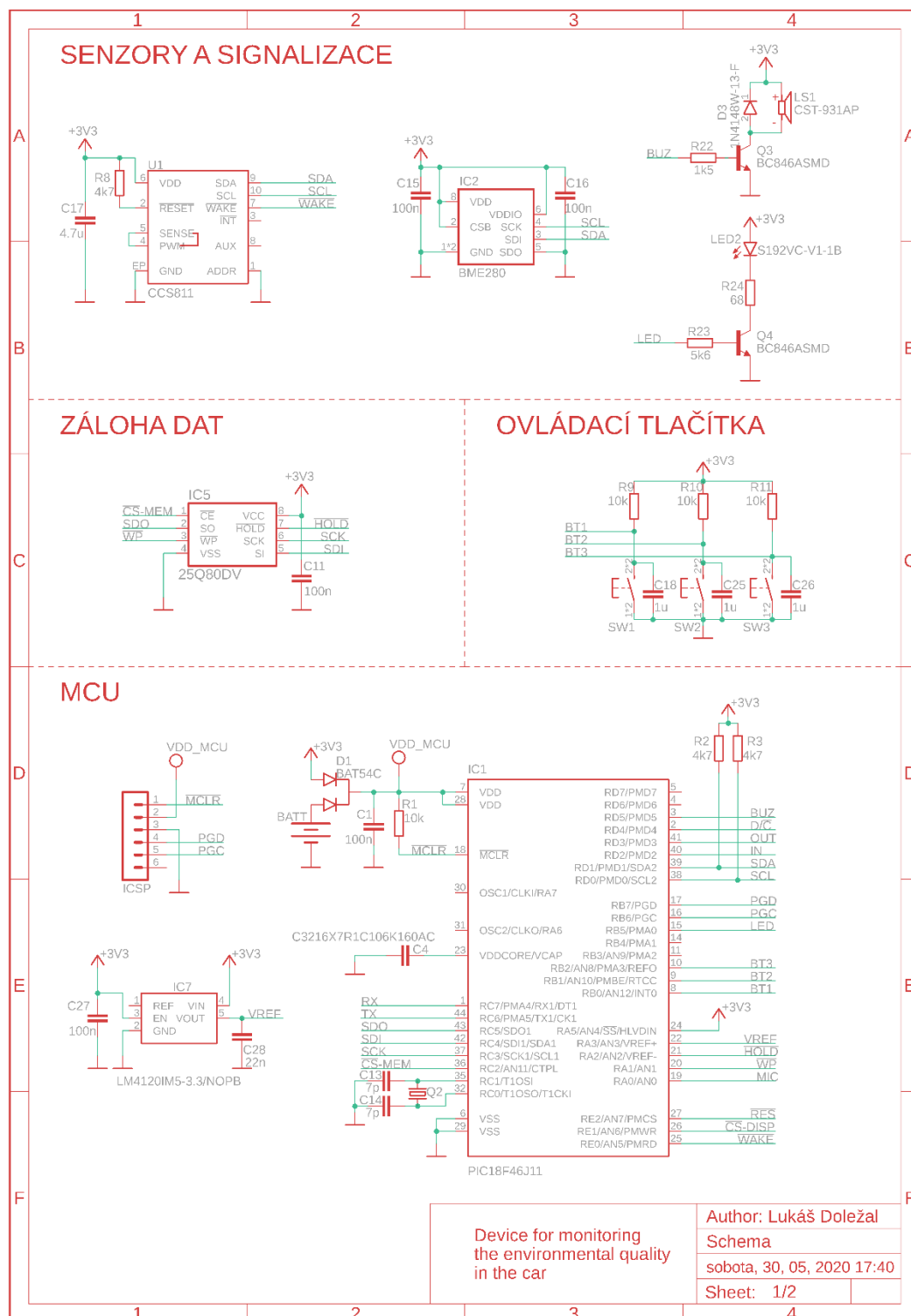
- [34] Vigan ® [online katalogový list]. *BC846A* [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.912-008.1.pdf>
- [35] CUI Devices [online katalogový list]. *CST-931AP* ©2019 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.cuidevices.com/product/resource/cst-931ap.pdf>
- [36] Toshiba Electronics Europe GmbH [online katalogový list] *TLP241A* [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=14237&prodName=TLP241A>

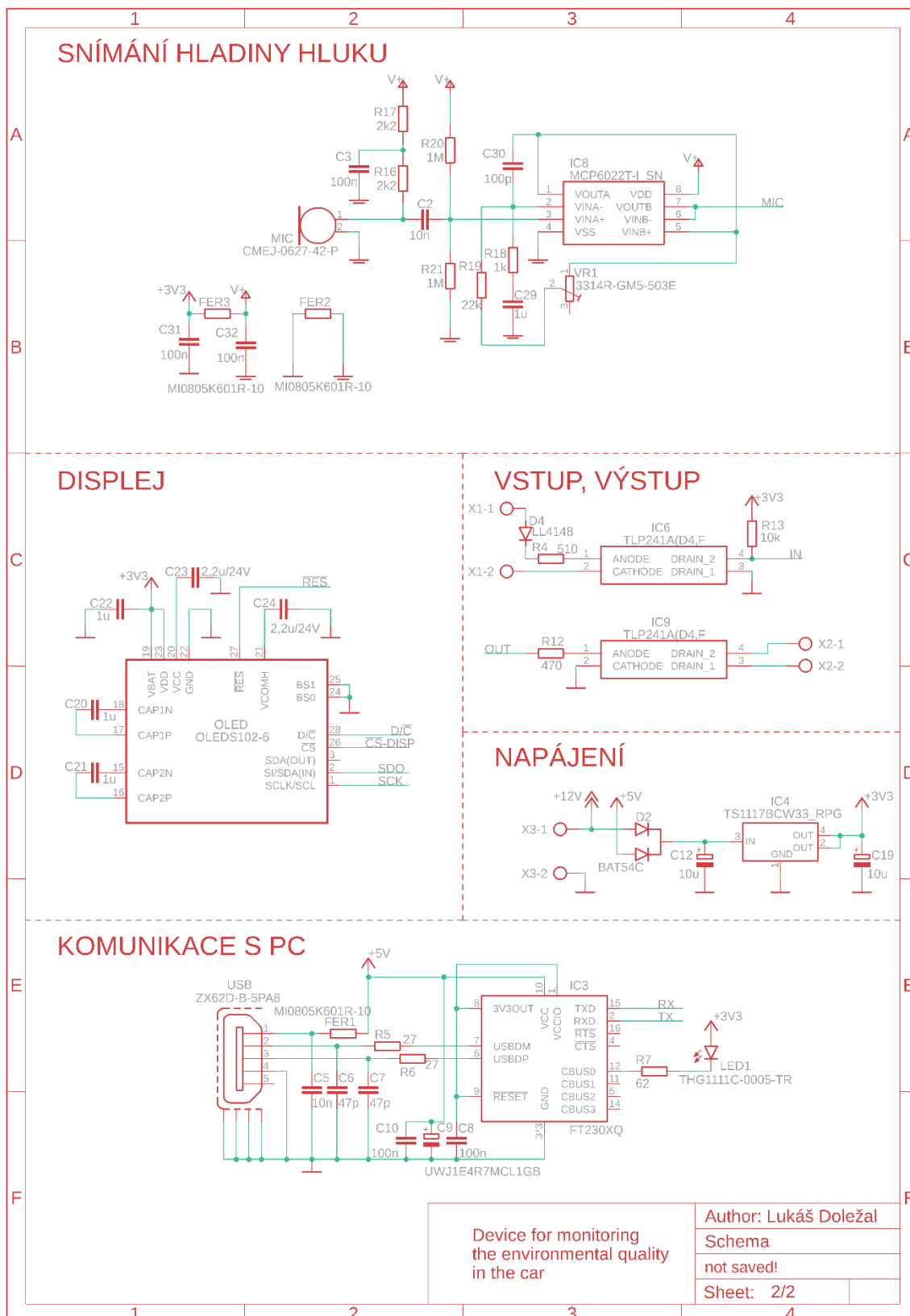
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

VOC	Volatile Organic Compound – Volně těkavé organické látky
WHO	World Health Organisation – Světová zdravotnická organizace
GSS	Gas Sensing Solution – Senzor pro snímání plynu
MOS	Metal Oxide Semiconductor – Polovodič s oxidem kovu
MOx	Metal Oxide – Oxid kovu
GSE, EC	Gas Sensive Electrochemical, Electrochemical Sensor – Elektrochemický senzor
PID	Photoionization detector – Fotoionizační senzor
UV	Ultraviolet – ultrafialové světlo
LED	Light Emitting Diode – Světlo emitující dioda
NDIR	Non Dispersive Infra-Red – Nedisperzní infračervený senzor
I2C (IIC)	Inter-Integrated Circuit – Multimasterová sériová sběrnice
SPI	Seriál Peripheral interface – Sériové periferní rozhraní
TVOC	Total Volatile Organic Compound – Celkové volně těkavé organické látky
eCO ₂	Carbon dioxide equivalent – Ekvivalent oxidu uhličitého
OLED	Organic Light Emitting Diode – Organická světlo emitující dioda
MCU	Microcontroller Unit – Mikrokontrolér
RTCC	Real Time Clock and Calendar – Obvod reálného času a kalendář
MSSP	Master Synchronous Serial Port
EUSART	Enhanced Universal Asynchronous Receiver Transceiver – Rozšířený univerzální synchronní asynchronní přijímač a vysílač
ADC, AD	Analog to Digital Converter – Analogově digitální převodník
USB	Universal Serial Bus – Univerzální sériová sběrnice
LGA	Land Grid Array – typ pouzdra integrovaných obvodů
HAL	Hot Air Leveling – povrchová úprava desky plošných spojů

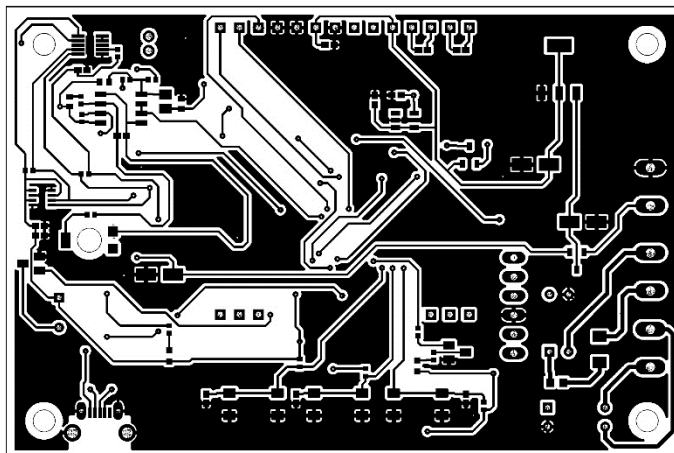
A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Schéma zapojení



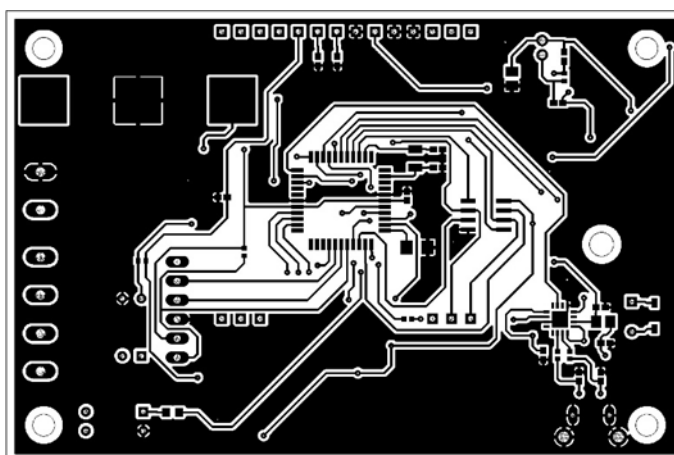


A.2 Deska plošných spojů – vrchní strana



Rozměr desky 90 x 60 [mm], měřítko M1:1

A.3 Deska plošných spojů – spodní strana



Rozměr desky 90 x 60 [mm], měřítko M1:1

B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
BATT			
C1, C3, C8, C10, C11, C15, C16, C27, C31, C32	100n	0402	Keramické kondenzátory
C2, C18, C20, C21, C22, C25, C26, C29, C30	1u	0402	
C4	10u	1206	
C5	10n	0402	
C6, C7	47p	0402	
C13, C14	7p	0402	
C17	4.7u	0402	
C23, C24	2,2u/24V	0402	
C28	22n	0402	
C9	4.7u	153CLV-0405	Elektrolytické kondenzátory
C12, C19	10u	153CLV-0405	
D1, D2	BAT54C	SOT23	Schotkyho diody
D3	1N4148W-13-F	SOD3716X145N	Usměrňovací diody
D4	LL4148	SOD80C	
FER1, FER2, FER3	MI0805K601R-10	M0805	Feritové cívky
IC1	PIC18F46J11	TQFP44	Mikrokontrolér
IC2	BME280	LGA	Senzor teploty, tlaku a vlhkosti
IC3	FT230XQ	QFN16	Rozhraní UART ↔ USB
IC4	TS1117BCW33_RPG	SOT-223	Lineární stabilizátor
IC5	25Q80DV	SOIC8-150mil	Paměť

IC6, IC9	TLP241A(D4,F	DIP762W60P254L458H485Q4N	Optočleny
IC7	LM4120IM5-3.3/NOPB	SOT95P280X145-5N	Napěťová reference
IC8	MCP6022T-I_SN	SOIC8-150mil	Operační zesilovač
ICSP	MA06-1		Kolíková lišta
LED1	THG1111C-0005-TR	0603	LED diody
LED2	S192VC-V1-1B	0603	
LS1	CST-931AP		Bzučák
MIC	CMEJ-0627-42-P		Mikrofon
OLED	OLED S102-6		Displej
Q2	3.2X1.5		Krystal
Q3, Q4	BC846ASMD	SOT23	NPN tranzistory
R1, R9, R10, R11, R13	10k	0402	Rezistory
R2, R3	4k7	0402	
R4	510	0603	
R5, R6	27	0402	
R7	62	0402	
R8	4k7	0402	
R12	470	0603	
R16, R17	2k2	0402	
R18	1k	0402	
R19	22k	0402	
R20, R21	1M	0402	
R22	1k5	0402	
R23	5k6	0402	
R24	68	0402	
SW1, SW2, SW3	TL3305		Tlačítka
U1	CCS811	LGA10	Senzor koncentrace oxidu uhličitého
USB	ZX62D-B-5PA8		Mikro USB konektor
VR1	3314R-GM5-503E		Trimr
X1, X2, X3	AK500/2		Svorkovnice