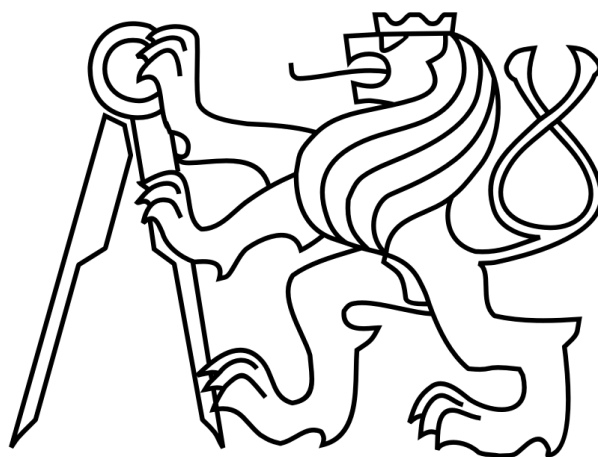


České vysoké učení technické v Praze
fakulta elektrotechnická
katedra mikroelektroniky



Diplomová práce

Analyzátor plynu

obor elektronika

Autor: Bc. Lukáš Mistr

Vedoucí práce: Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. M I S T R Lukáš**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Elektronika

Název tématu: **Analyzátor plynu**

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rozbor stávajícího stavu poznání v oblasti senzorových systémů pro analýzu plynů, pozornost primárně zaměřte na senzory plynů využitelné v domácnosti a pro bezpečnost člověka, proveďte porovnání parametrů vhodných pro návrh analyzátoru plynů z výše uvedených kategorií.
2. Navrhněte senzorový analyzátor plynů, pozornost zaměřte na senzory plynů z výše uvedených skupin.
3. Navržené zařízení dle možností realizujte, proveďte základní ověření činnosti systému a zjištění jeho základních technických parametrů.
4. Proveďte jednoduchý ekonomický rozbor s úvahou pro výrobu navrženého systému.

Seznam odborné literatury:

- [1] Neumann,P., Uhlíř,J.: Elektronické obvody a funkční bloky (I,II), ČVUT.
[2] Katalogové listy Figaro GAS Sensors, <http://www.figaro.co.jp/en/top.html>

Vedoucí: **Prof.Ing. Miroslav Husák, CSc.**

Platnost zadání: 31. 8. 2015

L.S.

Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 10. 2. 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou prací Analyzátor plynu zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu uvedenou na konci práce. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

podpis

V Praze dne

Poděkování

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci Analyzátor plynu zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu uvedenou na konci práce. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

Anotace

Diplomová práce popisuje základní principy fungování senzorů pro detekci plynů, jejich vyhodnocování a návrh analyzátoru plynu. Ten je rozdělen na tři části, senzorovou část, vyhodnocovací a řídicí část a displej s výstupními relé. Dále práce obsahuje ověření funkce analyzátoru a měření s katalytickým senzorem. Nakonec je navržený analyzátor podroben ekonomické rozvaze, aby mohl být porovnán s konkurencí na trhu.

Abstract

Diploma thesis describes the basic principles of sensors for gas detection, evaluation and design of the gas analyzer. It is divided into three parts, the sensor part, evaluation and control part and display and output relays. The work includes verification of analyzer's function and measuring the catalytic sensor. Finally, the proposed analyzer is subjected to economic balance in order to compare it with the competition in the market.

Obsah

1	Principy detekce	10
1.1	Katalytické spalování - pellistor.....	10
1.2	Elektrochemický	11
1.3	Infračervený	12
1.4	Polovodičový	13
1.5	Fotoionizační.....	14
2	Senzory	15
2.1	Katalytický senzor MC119 od firmy Winsen	15
2.2	Polovodičový senzor TGS822 od firmy Figaro	16
2.3	Elektrochemický senzor ME3-C12 od firmy Winsen	17
2.4	Infračervený senzor hydrocarbon od firmy Dynament	18
3	Firmy zabývající se detekcí plynů	20
3.1	Aseko	20
3.2	Dega.....	20
3.3	J.T.O. System	21
3.4	Technix.....	22
3.5	Dräger Safety	22
3.6	Honeywell	23
3.7	Oldhame.....	23
3.8	MSA Auer	24
4	Návrh senzorového systému.....	25
4.1	Senzorová část.....	26

4.2	Vyhodnocovací a řídicí část	30
4.3	Displej s výstupními relé.....	38
4.4	Řídicí software	39
5	Dosažené výsledky	42
5.1	Analyzátor plynu.....	42
5.2	Senzor MC119	43
6	Ekonomický rozbor	47
6.1	Rozpis součástí vyhodnocovací a řídicí části.....	47
6.2	Rozpis součástí pro displej s výstupními relé	48
6.3	Rozpis součástí sensorové části s katalytickým senzorem	48
6.4	Cena výroby prototypu (s katalytickým senzorem a displejem)..	49
6.5	Cena sériové výroby (>500 kusů).....	49
6.6	Celková cena výrobku	49
7	Závěr	52
8	Literatura	54

Seznam použitých zkratek a symbolů

f (Hz) frekvence

I (A) proud

t (s) čas

T (°C) teplota

U (V) napětí

A/D Analogově digitální

CS chip select

DC/DC převodník stejnosměrného napětí

D/A Digitálně analogové

LSD bit s nejnižší hodnotou (least significant bit)

MISO master in, slave out

MOSI master out, slave in

MSB bit s nejvyšší hodnotou (most significant bit)

OZ operační zesilovač

SCL hodinový signál

SDA datový signál

SCK hodinový signál

Úvod

Kapitoly 1, 2 a 3 popisují aktuální stav v odvětví zabývající se detekcí plynů a to jak v českém tak i světovém trhu. Detektory plynů jsou zařízení pro měření koncentrace plynů. Mezi nejdůležitější detekční principy patří katalytické spalování (pellistor), elektrochemický princip, infračervený princip, fotoionizační princip a polovodičový princip. Detekce plynů je zapotřebí všude, kde se pracuje s plyny, či látkami, z kterých se plyn uvolňuje, nebo kde by mohla poklesnout koncentrace kyslíku, například v mnoha odvětvích průmyslu, v podzemních garážích, zimních stadionech atd.

Hlavní pozornost byla zaměřena na katalytický senzor, který se používá pro detekci hořlavých plynů. Mezi jeho výhody patří rychlost odezvy a cena. Dá se využít v mnoha odvětvích průmyslu, ale dobře poslouží i v každé domácnosti kde se používá zemní plyn k topení, nebo k vaření.

Řešení analyzátoru plynu, popsané v kapitole 4, je rozděleno do tří částí, aby bylo možné k řídicí a vyhodnocovací části připojit senzorovou část s jakýmkoliv druhem senzoru. Dále je možnost připojit část s displejem a výstupními relé, která umožňuje analyzátoru ovládat bezpečnostní prvky a tím zamezit havárii.

V kapitole 5, zabývající se dosaženými výsledky, vidíme chování katalytického senzoru při nenulové koncentraci benzenu, methanolu a propan-butanu. Dále byly otestovány základní funkce analyzátoru a to výpočet koncentrace a proudový výstup.

Ekonomická rozvaha, nacházející se v kapitole 6, pojednává o ceně navrženého analyzátoru, a tím umožňuje porovnání s konkurencí na trhu.

1 Principy detekce

1.1 Katalytické spalování - pellistor

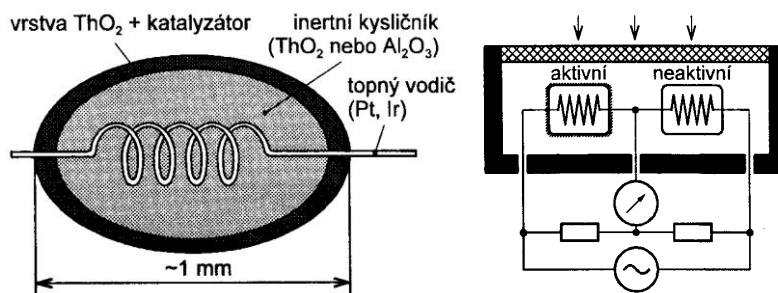
Senzor se skládá ze dvou platinových drátků zalitých v hliníkových perličkách a zapojených do Wheatsonova můstku, jak můžeme vidět na obrázku 1. Část perliček je impregnována katalyzátorem, který podněcuje oxidaci v přítomnosti daného plynu. Při oxidaci se jeden z drátků zahřívá a tím mění svůj odpor.

Výhody:

- Lineární závislost
- Levné a stabilní
- Rychlé (<10 s)
- Teplotní rozsah (-40 až 70 °C)

Nevýhody:

- Otrava katalyzátoru (snížení citlivosti, či úplné zničení)
- Nutnost kyslíku kvůli hoření
- Velká spotřeba energie



Obrázek 1 Princip katalytického senzoru (převzato z [3])

1.2 Elektrochemický

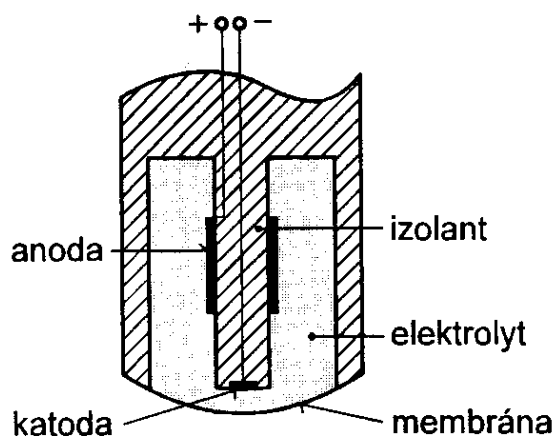
Senzor je tvořen ze dvou až čtyř elektrod umístěných v elektrolytu. Od okolí jsou odděleny polopropustnou membránou, jež propouští pouze daný plyn. Při výskytu plynu dochází k oxidačním a redukčním reakcím, které mění potenciál elektrod. Názorné uspořádání můžeme vidět na obrázku 2.

Výhody:

- Spolehlivé a levné pro běžné plyny
- Detekce nízkých úrovní plynů

Nevýhody:

- Otrava vysokou koncentrací plynu
- Pomalé (někdy až 1 minuta)
- Vliv proudění vzduchu, teploty a vlhkosti



Obrázek 2 Princip elektrochemického senzoru (převzato z [3])

1.3 Infračervený

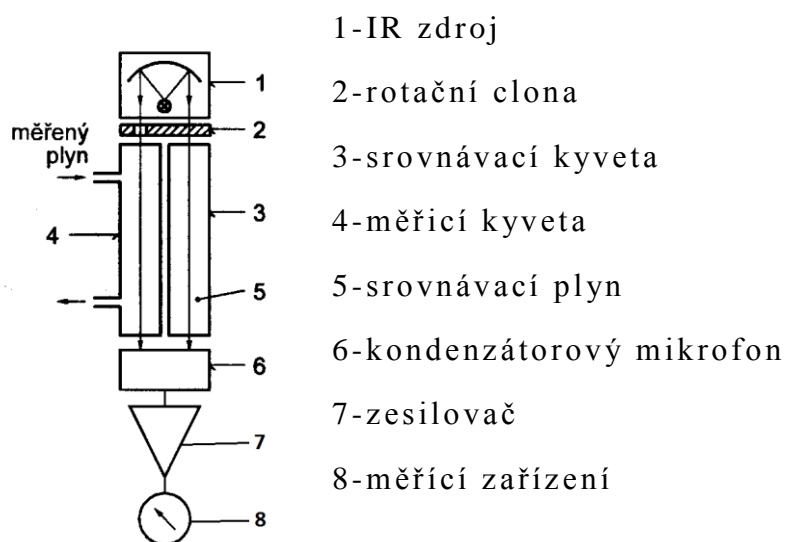
Senzor využívá schopnosti plynu absorbovat infračervené světlo. Vlnovou délkou určíme, jaký plyn měříme. Infračervené světlo putuje přes komoru s měřeným plynem, a ten je poté detekován. Množství světla, které projde skrz, odpovídá koncentraci. Obrázek 3 znázorňuje princip infračerveného senzoru.

Výhody:

- Není zapotřebí kyslíku
- Dobrá selektivita
- Nehrozí poškození vysokou koncentrací, či poškození jinými plyny
- Životnost

Nevýhody:

- Cena



Obrázek 3 Princip infračerveného senzoru (převzato z [3])

1.4 Polovodičový

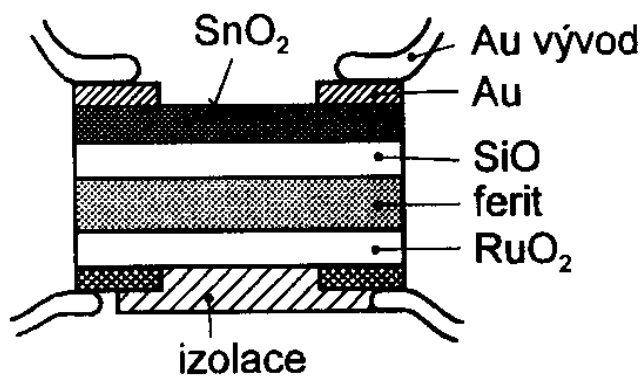
Polovodičové senzory pracují na principu odkrytého PN přechodu, kde při kontaktu plynu a PN přechodu dochází ke změně vodivosti senzoru. Tento jev nastává díky přítomnosti redukčních, nebo oxidačních složek v atmosféře. Příklad polovodičového senzoru můžeme vidět na obrázku 4.

Výhody:

- Dlouhá životnost v čistém prostředí
- Cena

Nevýhody:

- Nízká selektivita



Obrázek 4 Princip polovodičového senzoru (převzato z [3])

1.5 Fotoionizační

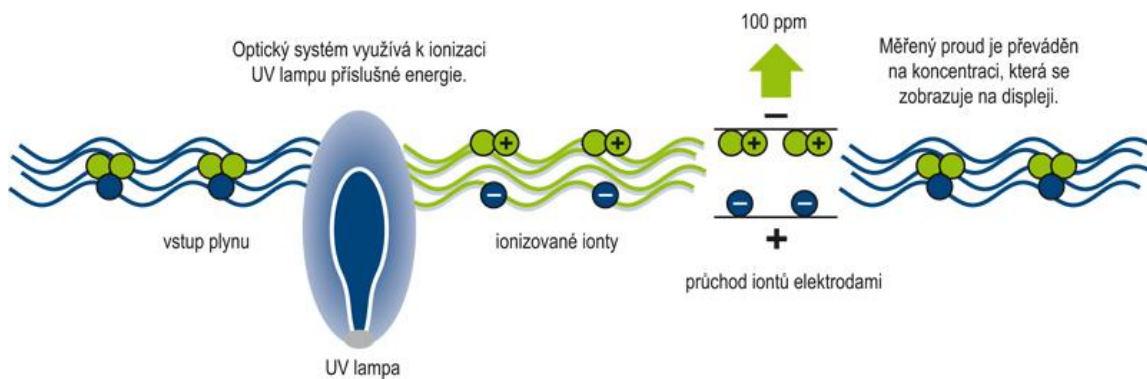
Fotoionizační senzor využívá UV lampy, pomocí které ionizuje plyn. Podle vzniklého elektrického náboje určíme přítomnost plynu. Princip jevu můžeme vidět na obrázku 5.

Výhody:

- Nepodléhá vlivům teploty a vlhkosti
- Vysoká citlivost
- Rychlost (< 3 s)

Nevýhody:

- Nízká selektivita



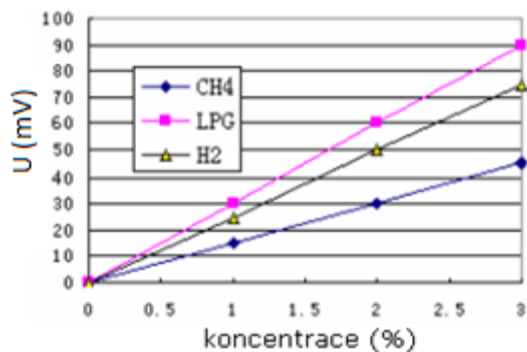
Obrázek 5 Princip fotoionizačního senzoru (převzato z [16])

2 Senzory

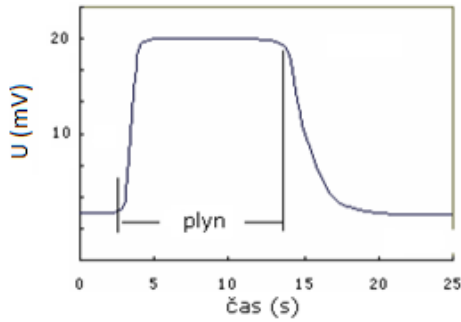
Senzory nabízí mnoho různých firem jako je například Citytech, Dynament, Figaro, FIS inc, Membrapor, Winsen a další. Některé firmy se specializují na jeden druh senzorů, jiné nabízejí všechny druhy senzorů. Výběr senzoru volíme dle kompromisu mezi cenou, podmínkami používání a kvalitou. Pro větší porovnání by bylo zapotřebí získat vzorky a podrobit je dlouhodobému měření, aby byly zjištěny parametry jako sensitivita, stabilita, stárnutí, vliv teploty a vlhkosti a další. V následujících podkapitolách jsou ukázky senzorů, pro které byl tvořen návrh analyzátoru plynu.

2.1 Katalytický senzor MC119 od firmy Winsen

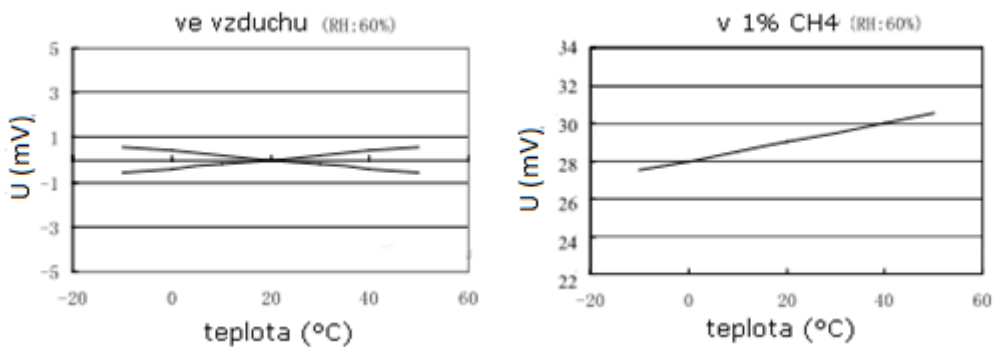
Katalytický senzor byl zvolen MC119 a jeho základní vlastnosti lze vidět z obrázků 6, 7 a 8. Základní technické parametry jsou dále uvedeny v příloze.



Obrázek 6 Citlivost (selektivita) senzoru na plyny (převzato z [17])



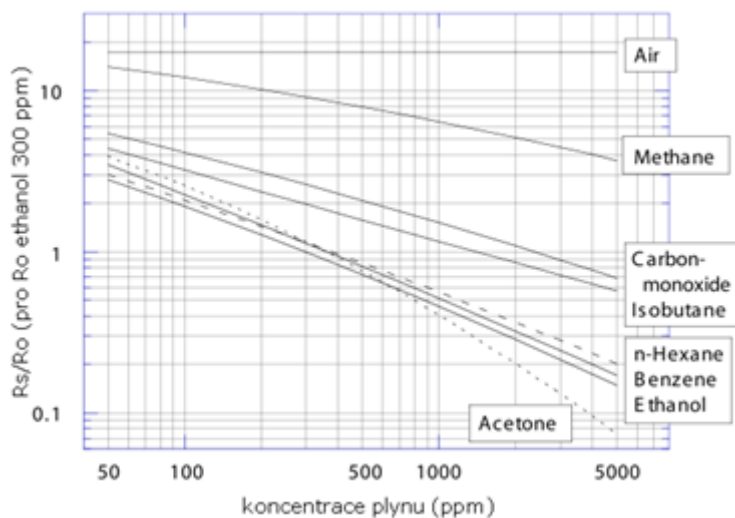
Obrázek 7 Reakce senzoru na koncentraci plynu (v čase) (převzato z [17])



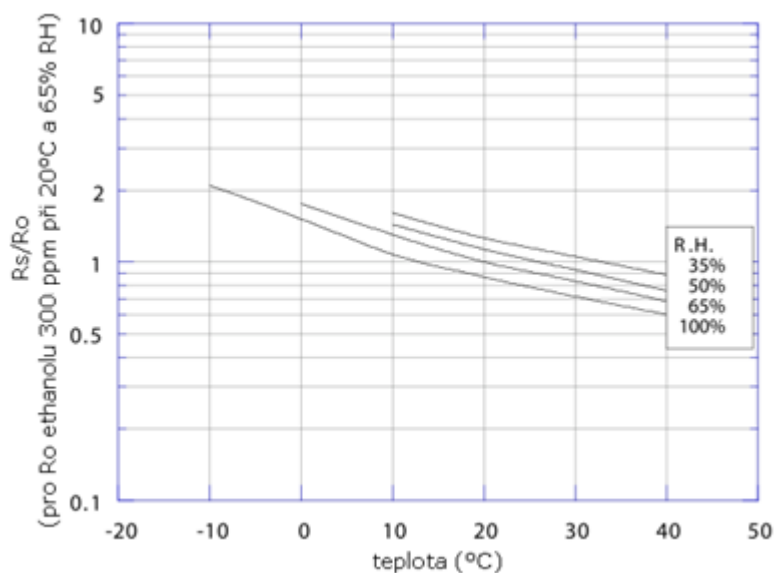
Obrázek 8 Teplotní závislost senzoru (bez teplotní kompenzace) (převzato z [17])

2.2 Polovodičový senzor TGS822 od firmy Figaro

Příklad ze skupiny polovodičových senzorů máme senzor TGS 822. Na obrázku 9 máme závislost odporu senzoru na druhu plynu a jeho koncentraci. Obrázek 10 vypovídá o závislosti senzoru na teplotě a vlhkosti.



Obrázek 9 Odpor senzoru v závislosti na koncentraci plynu (převzato z [18])

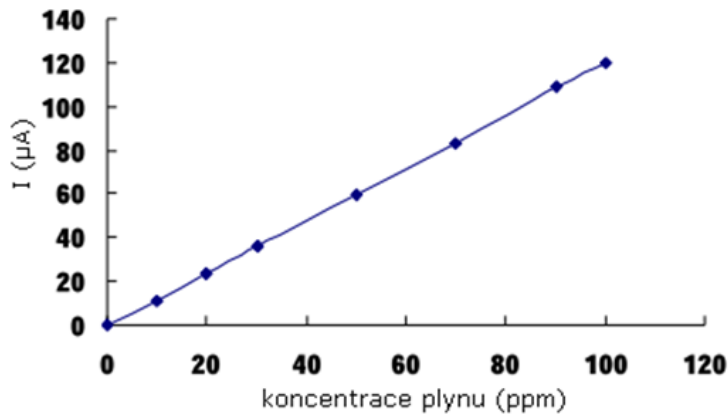


Obrázek 10 Závislost odporu senzoru na teplotě a vlhkosti (převzato z [18])

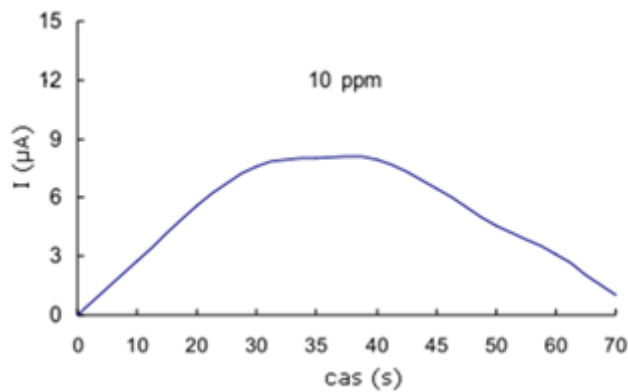
2.3 Elektrochemický senzor ME3-CL2 od firmy Winsen

Zástupcem skupiny elektrochemických senzorů je senzor ME3-CL2. Jeho citlivost na daný plyn je na obrázku 11 a na obrázku 12 máme rychlost

odezvy na přivedený plyn. Další technické parametry můžeme nalézt v přílohách.



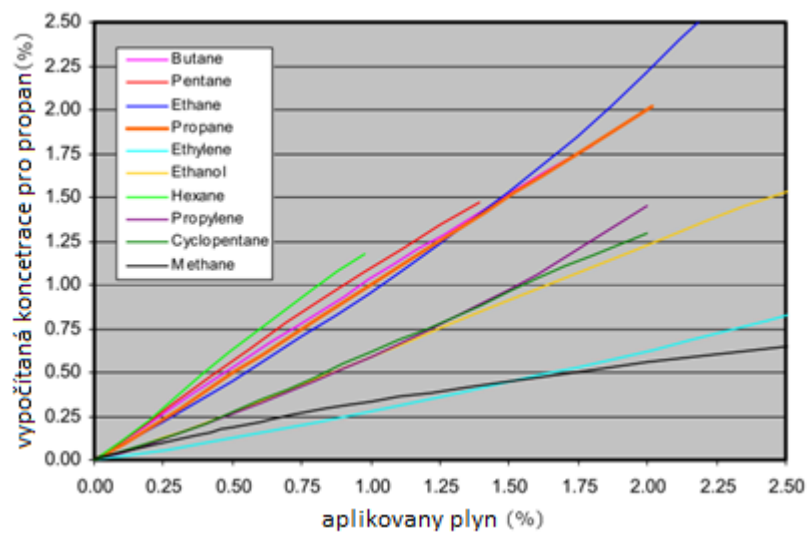
Obrázek 11 Citlivost (selektivita) senzoru na plyny (převzato z [17])



Obrázek 12 Reakce senzoru na plyn (v čase) (převzato z [17])

2.4 Infračervený senzor hydrocarbon od firmy Dynament

Infračervený senzor hydrocarbon je velmi unikátní svým miniaturním pouzdrem, ve kterém je obsažené vše potřebné pro daný druh senzoru. Na obrázku 13 máme citlivost tohoto senzoru na jiné plyny, při měření propanu.



Obrázek 13 Citlivost při kalibraci na propan (převzato z [20])

3 Firmy zabývající se detekcí plynů

Na trhu je mnoho firem nabízející detektory plynů, ale mnoho z nich pouze přeprodává cizí výrobky. Mezi české firmy, které si detektory vyrábějí, patří Aseko, Dega, J. T. O. System, Technix. Ke světové špičce můžeme zařadit tyto firmy: Dräger Safety, Honeywell, Oldhame, MSA Auer.

3.1 Aseko

Firma Aseko se kromě detekce plynů zabývá i detektory kvality vody, bazénovou technikou a dozráváním banánů. Při bližším prozkoumání je patrné, že hlavní činností je bazénová technika. Ostatní odvětví jsou poněkud zastaralá, ale i tak funkční a na trhu mají své místo. Firma nabízí jeden druh ústředny, který vidíme na obrázku 14, spolu s detektory ve dvou provedeních odlišujících se prostředím, v kterém mají pracovat. [4]



Obrázek 14 Ústředna s detektorem od firmy Aseko (převzato z [4])

3.2 Dega

Firma Dega má širokou nabídku detektorů skládající se jak ze starších modelů, tak i z nových. V současné době má nejširší nabídku z českých

dodavatelů. Krom detektorů plynů nabízí i detektory kvality vody. Na obrázku 15 vidíme jejich nejnovější ústřednu s detektorem. [3]



Obrázek 15 Ústředna s detektorem od firmy Dega (převzato z [3])

3.3 J.T.O. System

Tato firma nabízí pouze detektory, které máme na obrázku 16. Absence ústředny velmi komplikuje zavedení systému od této firmy a lze je proto používat pouze v jednodušších systémech, kde každý detektor ovládá pouze jednu věc. [5]



Obrázek 16 Detektor od firmy J.T.O. Systém (převzato z [5])

3.4 Technix

Firma Technix se zabývá pouze detekcí plynů. Mají menší sortiment výrobků, ale nabízejí vše potřebné k vytvoření kvalitního systému, jako je ústředna, detektory a k nim potřebné adaptéry. Názornou ukázkou máme na obrázku 17. [6]



Obrázek 17 Ústředna s detektorem od firmy Technix (převzato z [6])

3.5 Dräger Safety

Dräger se zabývá oblastí zdravotnické a bezpečnostní techniky. Byl založen v roce 1889. Sortiment výrobků je velmi široký a je nabízen po celém světě. Příklady výrobků máme na obrázku 18. [7]



Obrázek 18 Ústředna a detektor od firmy Dräger (převzato z [7])

3.6 Honeywell

Historie firmy sahá až do roku 1885. Dnes je firma zastoupená po celém světě. Zabývá se mnoha odvětvími. Pro detekci plynů nabízí mnoho možností, ale jedinečná je možnost sledování detektorů přes satelit. Takovýto detektor můžeme vidět na obrázku 19. [8]



Obrázek 19 Ústředna detektor od firmy Honeywell (převzato z [8])

3.7 Oldhame

Oldhame je francouzská firma, která vznikla v roce 1840. V nabídce má pouze stacionární detektory, které máme na obrázku 20, ale i přesto je špičkou v detekci plynů. Svoje výrobky může nabízet po celém světě, a to hlavně díky velkému množství certifikátů. [10]



Obrázek 20 Ústředna s detektorem od firmy Oldhame (převzato z [10])

3.8 MSA Auer

Tato americká firma vznikla roku 1914 a zabývá se bezpečností na pracovišti. Nabízí mnoho druhů výrobků, příklad můžeme vidět na obrázku 21. [9]



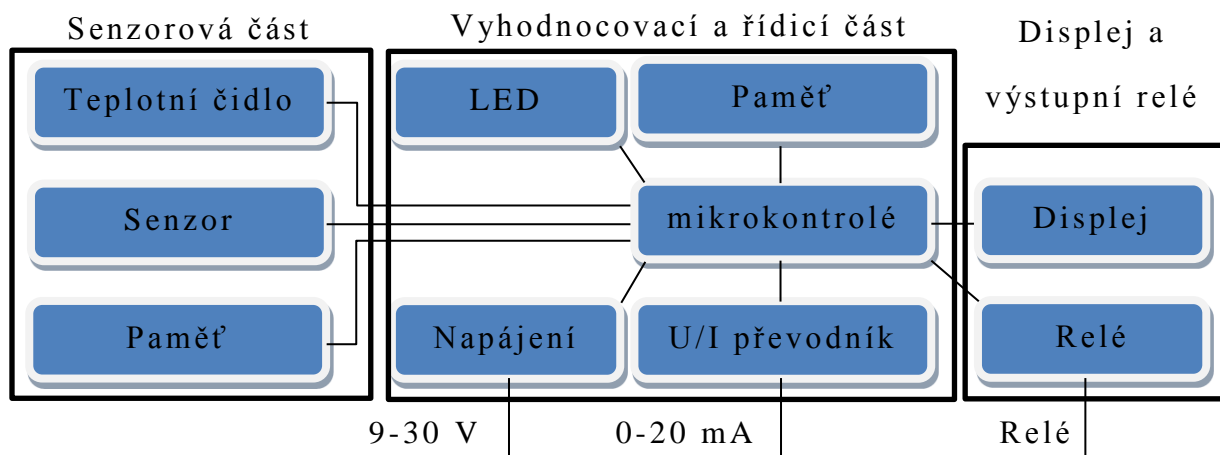
Obrázek 21 Ústředna a detektor od firmy MSA Auer (převzato z [9])

4 Návrh senzorového systému

Detektor plynu byl zhotoven ze tří částí, aby mohl být lehce upravitelný a fungoval na všechny druhy senzorů. Na obrázku 22 je vidět blokové zapojení. Senzorová část obsahuje vždy senzor, paměť EEPROM a teplotní čidlo. Některé druhy senzorů potřebují výstupní signál upravit, a proto se desky liší právě v analogovém zpracování signálu. Dále deska obsahuje indikátor, který označí, o jaký druh senzoru jde, a vyhodnocovací a řídicí část si zvolí vyhodnocovací proceduru pro daný senzor.

Další blok displej a výstupní relé není pro činnost detektoru plynu potřebný, ale v některých případech může být užitečný, protože výstupní relé mohou spínat bezpečnostní prvky jako je větrání nebo signalizace. Displej zobrazuje základní informace, jako je koncentrace plynu, teplota, datum příští kalibrace a další. Tento blok se používá v případech, kdy detektor plynu není zapojen do ústředny a přebírá částečně její funkci.

Posledním a nejdůležitějším blokem je vyhodnocovací a řídicí část, kde je zdroj který napájí celý obvod, mikroprocesor, paměť pro dlouhodobá data, signalizační LED, tlačítka.



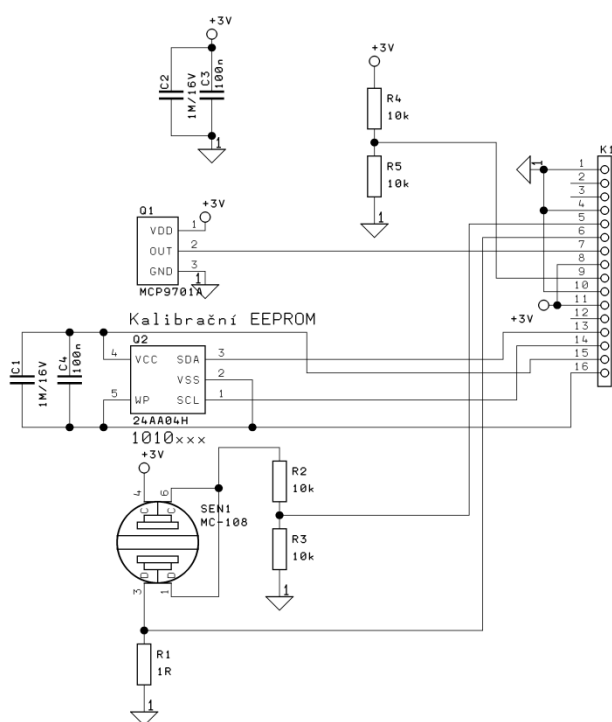
Obrázek 22 Blokové schéma detektoru plynu

4.1 Senzorová část

Tato část obvodu má čtyři verze lišící se druhem použitého senzoru. Pro všechny druhy je společná paměť EEPROM 24AA04H od firmy Microchip, která komunikuje pomocí sběrnice I2C a má velikost 0,5 kB. Do této paměti jsou ukládány kalibrační hodnoty a datum, kdy byl senzor zkalibrován. Další společnou částí je teplotní čidlo od firmy Microchip MCP9701, které má analogový výstup odpovídající teplotě.

Katalytický senzor

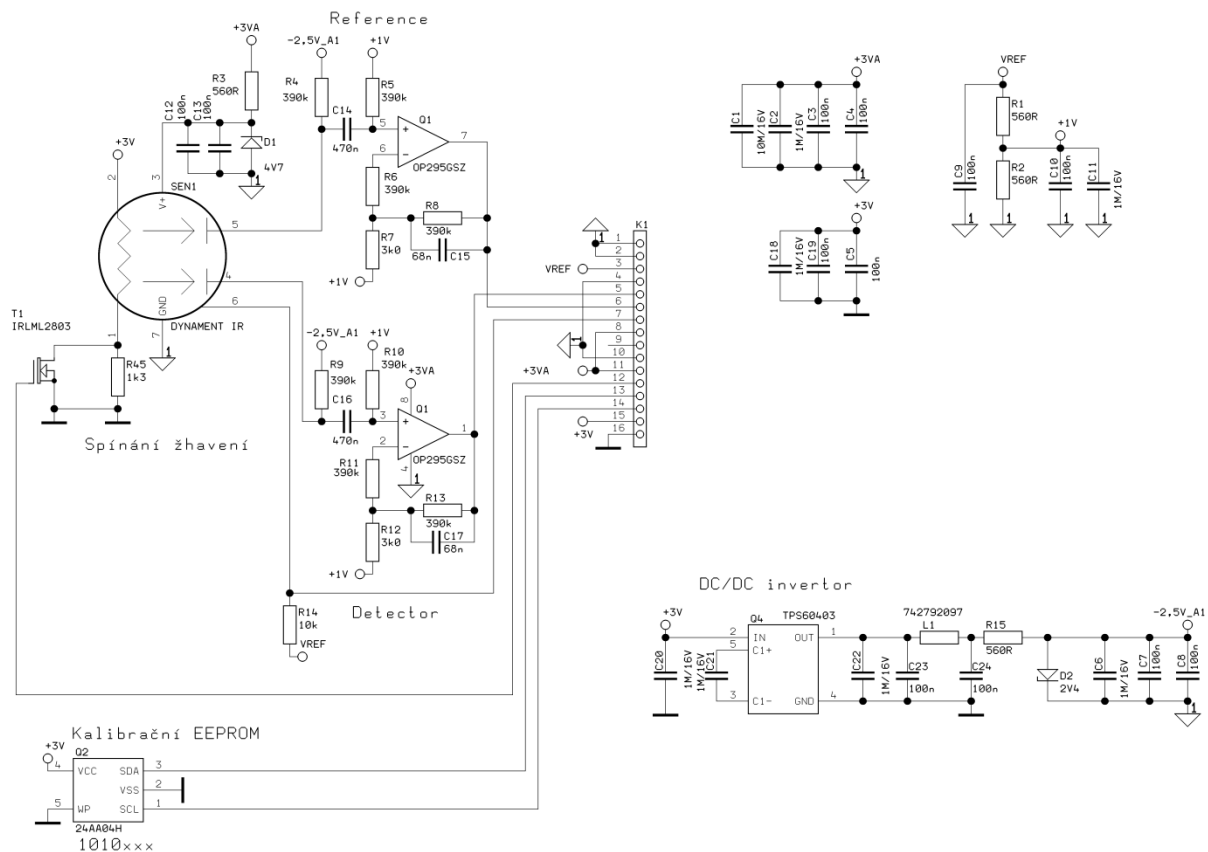
Katalytický senzor je zapojen do wheatstonova můstku, kde měříme změnu napětí. Pro tento druh senzoru už není zapotřebí dalších obvodů, jak můžeme vidět na obrázku 23.



Obrázek 23 Schéma sensorové části pro katalytický senzor

Polovodičový senzor

Polovodičový senzor je zapotřebí žhavit, a proto je připojen obvod regulující proud protékající žhavicí cívkou senzoru. Dále měříme změnu odporu polovodičové části senzoru. Zapojení máme na obrázku 24.



Obrázek 26 Schéma senzorové části s infračerveným senzorem

4.2 Vyhodnocovací a řídicí část

Analyzátor plynu je možno napájet stejnosměrným napájením devět až dvacet sedm voltů. Jako první na vstupu je ochranná dioda zabraňující přepólování a za ní transil hlídající maximální možné napájení, které je při překročení zkratováno. Dále je zařazen odrušovací EMI filtr, za kterým následuje spínaný zdroj LM22674-ADJ od firmy Texas instrument, který splňuje požadavky jak napěťové tak i proudové. Jeho výstupní napětí je třeba nastavit pomocí zpětné vazby, a to za pomoci vzorce 1.

$$R_{201} = \left[\frac{V_{out}}{1,285} - 1 \right] * R_{101} \rightarrow V_{out} = \left[\frac{R_{201}}{R_{101}} + 1 \right] * 1,285 = 3,21 \text{ V} \quad (1)$$

Analyzátor plynu má tři možné výstupy, a to skrze RS485, USB a proudové smyčky. RS485 je používána jako digitální komunikace mezi detektory a ústřednou. Komunikaci zajišťuje obvod SN65HVD07. USB je připraveno ke komunikaci s počítačem, pomocí kterého lze snadněji kalibrovat, vyčítat naměřené hodnoty z paměti a aktualizovat datum a čas. Tyto věci lze provádět i přes komunikaci RS485, ale je zapotřebí převodník na sériovou linku. Proudový výstup slouží k propojení analyzátoru plynu s ústřednou. Velikost proudu odpovídá koncentraci. Proudový výstup je řešen pomocí integrovaného obvodu XTR111 vyráběného firmou Texas instrument. Byl zvolen výstup 0-20 mA, kde 4-20 mA je rozsah pro měření koncentrace, 2 mA značí chybu (ERROR) a 0mA nezapojený senzor. Nezbytnou součástí jsou i signalizační LED značící napájení, chybu (ERROR), komunikaci po RS485 a signalizaci kalibrování nulové koncentrace a předepsané koncentrace plynu. Dále zde máme tlačítka pro ruční kalibraci. Předposlední součástí je EEPROM paměť na naměřená data. Paměť má označení 24AA512 a opět pochází od Microchipu. Výhodou této paměti je velká kapacita, a to 64 kB, což by mělo být dostatečné pro ukládání historie naměřených dat. Komunikace je opět pomocí sběrnice I2C.

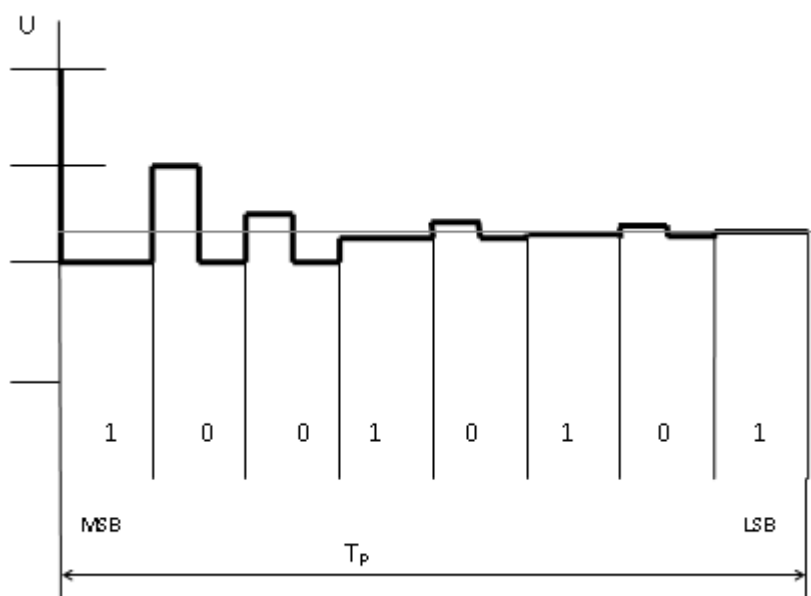
Mikrokontrolér

Centrem analyzátoru plynu je mikrokontrolér od firmy Microchip typ PIC24FJ128GC010. Mikroprocesor je 16-ti bitový a disponuje mnoha perifériemi (viz. dále).

12-Bitové A/D převodníky

Mikrokontrolér má 12-bitové A/D převodníky využívající princip postupné aproximace, na které lze přepnout až 50 kanálů. Převodníky s tímto způsobem převodu patří do skupiny kompenzační A/D převodníků, jejichž princip můžeme vidět na obrázku 27, a spočívá v tom, že vstupní napětí porovnáváme s referenčním napětím a jeho násobkům. Začíná se od nejvýznamnějšího bitu a pokračuje se k nejméně významnému bitu. Tím docílíme přesnosti menší, než 1 LSB bit. Tyto převodníky jsou používány jako pomocné A/D převodníky u senzoru a na měření napětí na odporu R_1 , který je zařazen do napájecí větve a lze pomocí vzorce 2 vypočítat odběr proudu. Při nečekané hodnotě nastaví zařízení ERROR. [11]

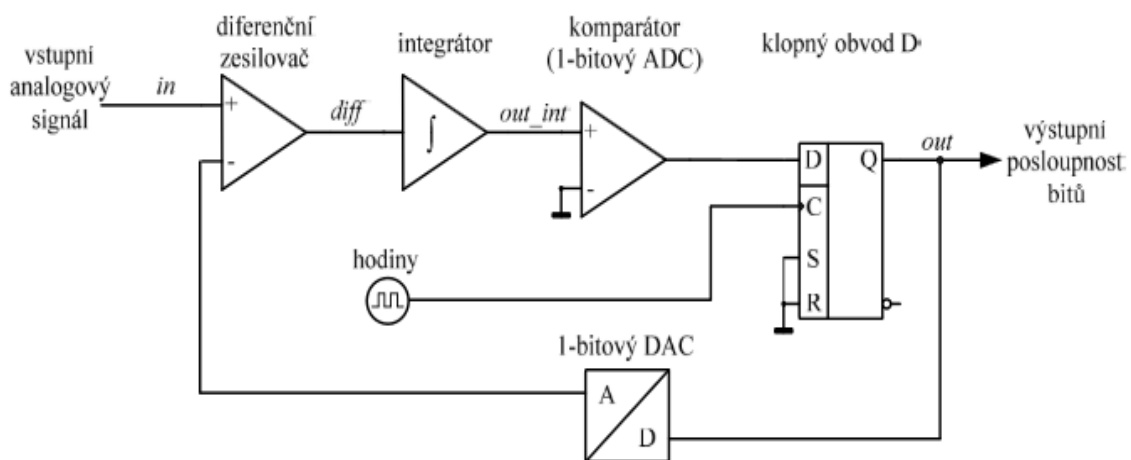
$$I_{out} = \frac{U_{R1}}{R1} \quad (2)$$



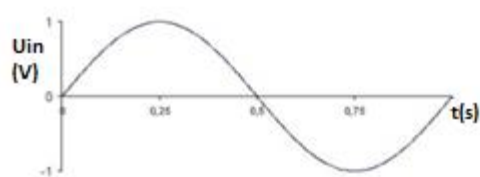
Obrázek 27 Průběh vyvažování 8-bitového A/D převodníku s postupnou aproximací (převzato z [11])

16-Bitové A/D převodníky

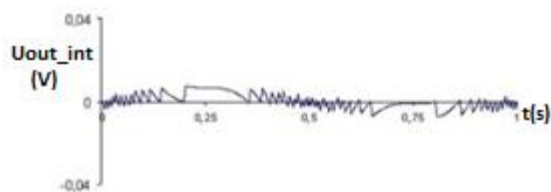
Mikrokontrolér disponuje dvěma přesnými 16-ti bitovými sigma-delta převodníky. Těchto převodníků je využito pro přesné měření napětí ze senzoru. U většiny senzorů by svou přesností stačil stačit 12-ti bitový převodník, ale u infračerveného je doporučován vyšší rozlišení převodník. Výrobce infračerveného senzoru sám doporučuje 16-ti bitový převodník, čímž zaručuje dostatečnou přesnost. Princip sigma-delta A/D převodníku je znázorněn na obrázcích 28 a 29. Na prvním obrázku je blokové schéma sigma-delta převodníku 1. řádu. Vyšších řádů se dosáhne kaskádním řazením integrátoru s distribuovanou zpětnou vazbou. [12]



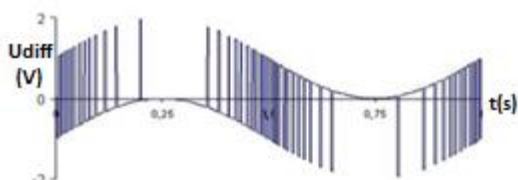
Obrázek 28 Blokové schéma sigma-delta modulátoru (převzato z [12])



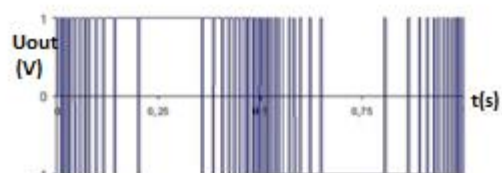
vstupní sinusový signál



výstup integrátoru *out_int*



výstup *diff* z diferenčního členu

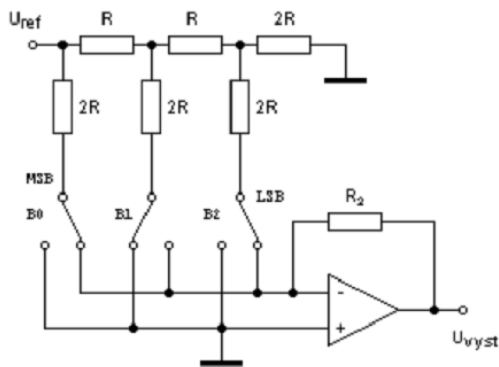


výstupní bitstream *out*

Obrázek 29 Přehled signálů ze sigma-delta modulátoru (převzato z [12])

10-Bitové D/A převodníky

Mikrokontrolér má dva odporové D/A převodníky, které jsou využity jako napěťový výstup pro převodník proud/napětí a jako nastavitelná napěťová reference u senzoru. Mikrokontrolér má dále možnost udělat napěťový výstup pomocí PWM, ale D/A převodníky jsou přesnější a ušetří i místo na desce plošných spojích. Příklad D/A převodníku můžeme vidět na obrázku 30, kde výstupní napětí je nastaveno pomocí jednotlivých spínačů a každý spínač představuje jeden bit.



Obrázek 30 D/A převodník s příčkovou strukturou odporové sítě (převzato z [13])

Operační zesilovače a komparátory

Mikrokontrolér obsahuje dva Rail-to-Rail operační zesilovače, který mají mezní frekvenci 2,5 MHz a tři Rail-to-Rail komparátory. Při návrhu jsem pro zesilovače a komparátory nenašel využití, poněvadž úprava signálu probíhá na jiné desce a při použití těchto operačních zesilovačů, by už analyzátor plynů nebyl modulární.

Napěťové reference

Mikrokontrolér obsahuje tři programově nastavitelné napěťové reference, které jsou přivedeny na senzorovou desku a využívány při analogové úpravě signálu.

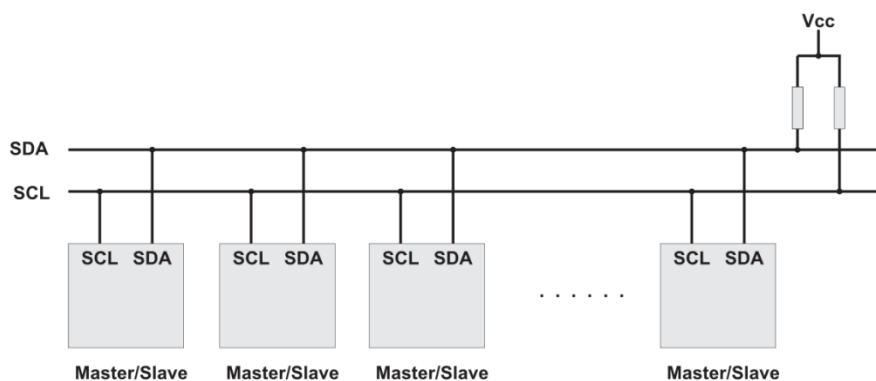
Správa napájení

Mikrokontrolér má několik režimů při výpadku napájení. Lze nastavit, které funkce mikrokontroléru budou stále běžet, a které budou nečinné. Lze jednotlivě nastavit vstupy a výstupy a jejich činnost při jednotlivých režimech napájení. Mikrokontrolér lze napájet z kondenzátoru, nebo

baterie. Analyzátor má funkci počítající aktuální čas, a to kvůli hlídání kalibrace a ukládání historie koncentrací plynu. Z tohoto důvodu byl tento mód využit a napájení bylo zvoleno pomocí baterie. Během výpadku napájení jsou až na udržování času všechny funkce vypnuty.

I2C

Mikrokontrolér disponuje dvěma I2C sběrnici. U tohoto typu sběrnice přenos probíhá po dvou drátech a to SDA a SCL. Aby I2C komunikace fungovala je zapotřebí SDA a SCL připojit přes PULL-UP odpory k napájení, jako je na obrázku 31. Standardní rychlost je 100 kHz, ale dost často se používá rychlost i vyšší, 400 kHz. Pro správnou komunikaci po této sběrnici je zapotřebí, aby zařízení byly rozděleny na master a slave. Výhodou této komunikace je, že má vyřešené kolizní situace, a proto umožňuje mít více mistrů.

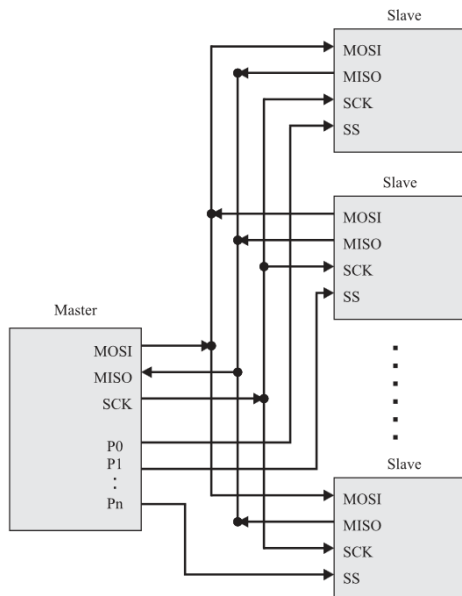


Obrázek 31 Blokové schéma I2C komunikace

SPI

Mikrokontrolér disponuje i komunikací SPI, která nebyla využita. Tato sběrnice komunikuje pomocí čtyř drátů a to MISO, MOSI, SCK a CS.

Nevýhodou této sběrnice je, že umožňuje pouze jednoho mastra a je zapotřebí více vedení. Výhodou SPI komunikace oproti I2C je vyšší rychlost. Na obrázku 32 vidíme principiální zapojení.



Obrázek 32 Blokové schéma SPI komunikace

UART

Mikrokontrolér obsahuje asynchroní komunikaci UART, která je převedena pomocí obvodu SN65HVD07 na komunikaci dle standartu RS485. Tato komunikace je vhodná na delší vzdálenosti (<1200 m), a proto je využívána na komunikaci analyzátoru plynu s ústřednou.

USB

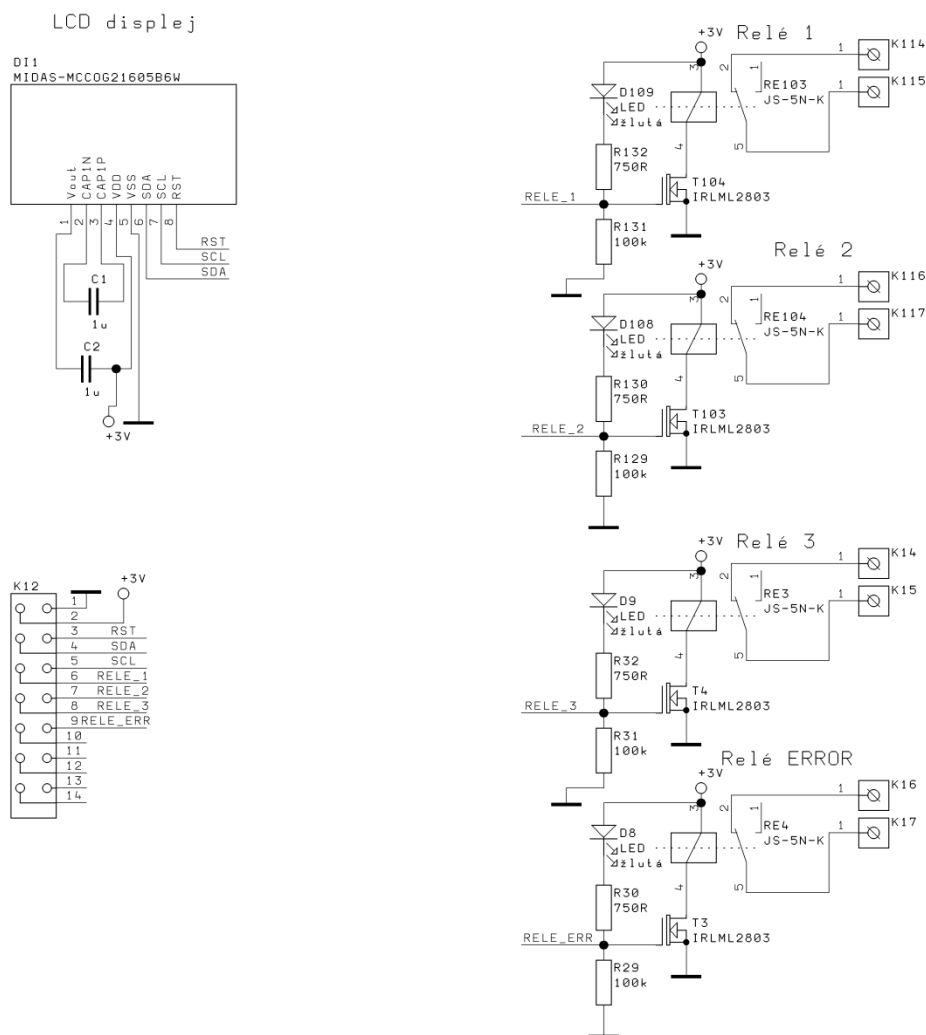
Mikrokontrolér umožňuje komunikovat pomocí USB specifikace s počítačem, čehož je využito a to především pro kalibrování, aktualizaci data a načtení historie měření. Výhodou této komunikace je jednoduché připojení a absence převodníků. Dále USB umožňuje velmi vysoké rychlosti, ale pro potřeby analyzátoru stačí nejpomalejší rychlost.

4.3 Displej s výstupními relé

Tato deska, kterou vidíme na obrázku 34, obsahuje 4 relé, jejichž funkci lze programově nastavit. Relé chyba (ERROR) je primárně určeno k značení poruchy na detektoru, jako je chybějící senzor, či jeho poškození, problém s napájením a další. Zbylá relé lze nastavit na spínání při různých koncentracích detekovaného plynu. Displej byl použit od firmy Midas typ MCCOG21605B6W, který můžeme vidět na obrázku 33 a komunikuje pomocí I2C sběrnice. Zobrazování má dvouřádkový, ale byl využit způsob zobrazování jako jednořádkový pro lepší čitelnost.



Obrázek 33 Displej Midas

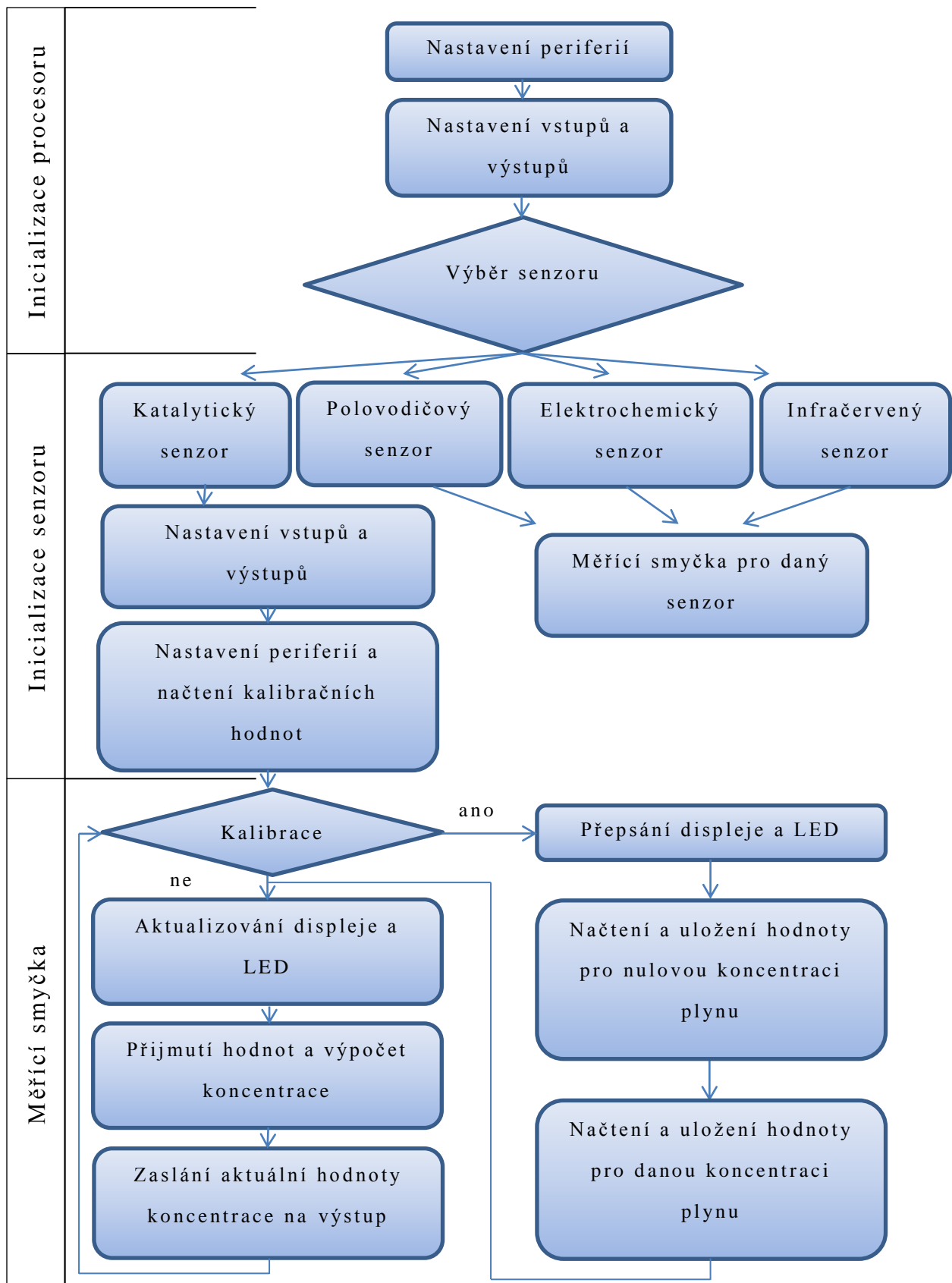


Obrázek 34 Schéma displeje s relátky

4.4 Řídicí software

Program je psán v jazyce C, ve vývojovém prostředí MPLAB X IDE od firmy Microchip. Běh programu, znázorněn na obrázku 35, začíná inicializací vstupů a výstupů, dlouhodobé paměti EEPROM, a pokud je k dispozici, tak i displeje. Po inicializaci vyhodnocovací a řídicí části programu zjistí jaký je připojen senzor, pokud není žádný, tak nastaví chybu (ERROR) a čeká, dokud není senzor připojen. Po připojení vybere mikroprocesor část programu, která odpovídá danému senzoru. Průběh

smyček všech druhů senzorů je stejný a liší se pouze výpočtem hodnoty, popřípadě zobrazováním na displeji. Průběh smyčky začíná nastavením všech LED do odpovídajícího stavu a aktualizací displeje. Poté následuje příjem hodnot ze sensorové části a výpočet aktuální hodnoty koncentrace plynu. Dále je možnost zapnout kalibraci, a to buď ručně za pomoci tlačítek, nebo pomocí USB. V případě ruční kalibrace analyzátor kalibruje na dvě hodnoty. Na začátku se uloží hodnota s nulovou koncentrací snímaného plynu a poté se na analyzátor začne pouštět kalibrační plyn o přesné koncentraci. Každý senzor na daný plyn reaguje jinak rychle, a proto je zapotřebí počkat, až se hodnota ustálí, a až poté ji uložit. Dodavatel senzorů udává, jak rychle senzor reaguje, ale je lepší vyčkat delší dobu, abychom si byli jisti ustálením hodnoty. U kalibrace pomocí počítače se opět nejprve uloží nulová koncentrace plynu a poté koncentrace plynu o přesné hodnotě. Výhodou je, že v počítači lze přesně nastavit, jaký plyn používáme a o jaké koncentraci, a nemusí být pouze koncentrace nastavená v programu analyzátoru plynu. Další výhodou je zobrazování aktuální hodnoty A/D převodníku, dle které se přesně určí ustálení hodnoty. Po kalibraci následuje odeslání hodnot na výstupy, a to na převodník napětí na proud, pokud je používáno tak RS485. Po odeslání hodnot se smyčka opakuje.

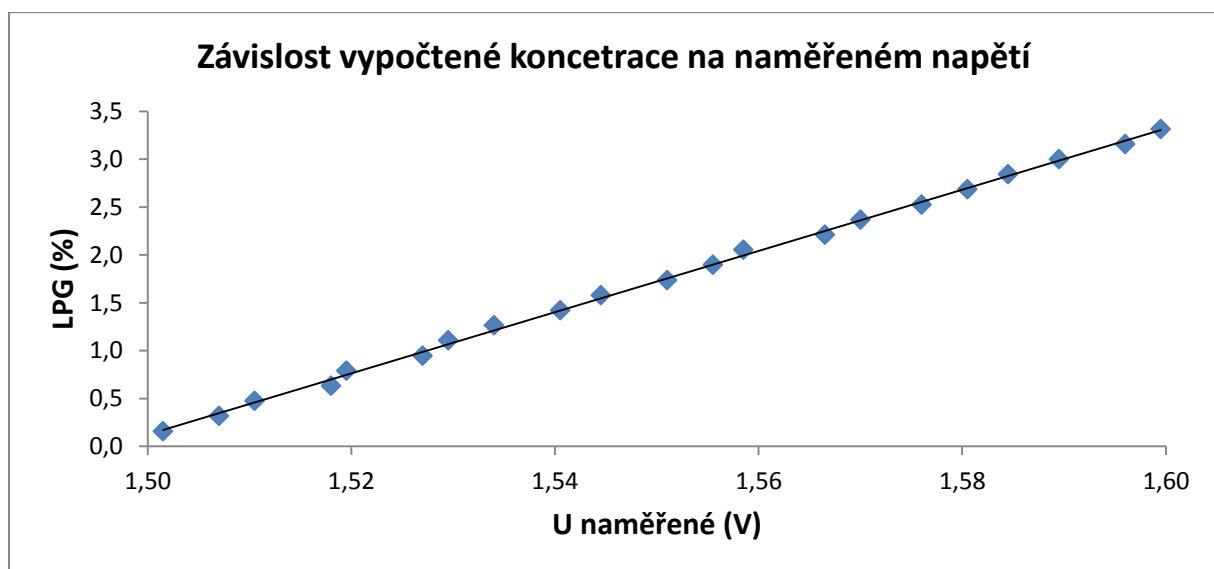


Obrázek 35 Vývojový diagram programu

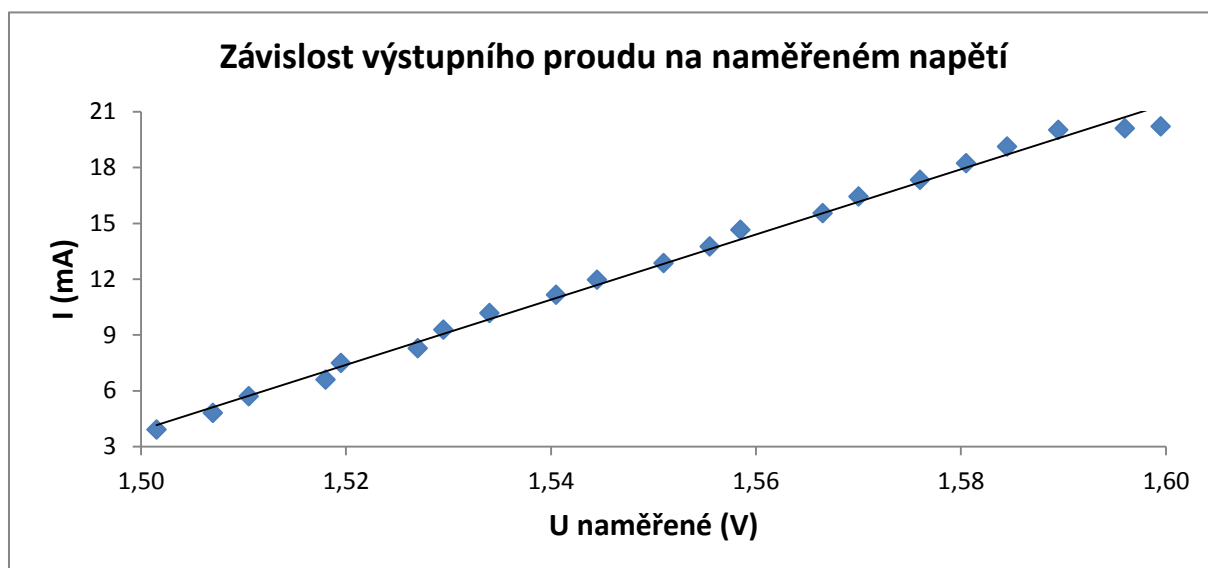
5 Dosažené výsledky

5.1 Analyzátor plynu

Analyzátor plynu byl otestován pomocí externího napájecího zdroje v rozsahu 2,5 V až 2,6 V, při kroku 5 mV. Napětí bylo nastavováno pomocí trimru a voltmetru. Jak je vidět na obrázku 36 A/D převodník získává přesnou hodnotu napětí, z které je následně vypočítána koncentrace plynu. U obrázku 37 můžeme vidět správnou funkci U/I převodníku, kdy při dosažení maximální koncentrace 3 % udržuje velikost proudu 20 mA.



Obrázek 36 Závislost vypočtené koncentrace na naměřeném napětí



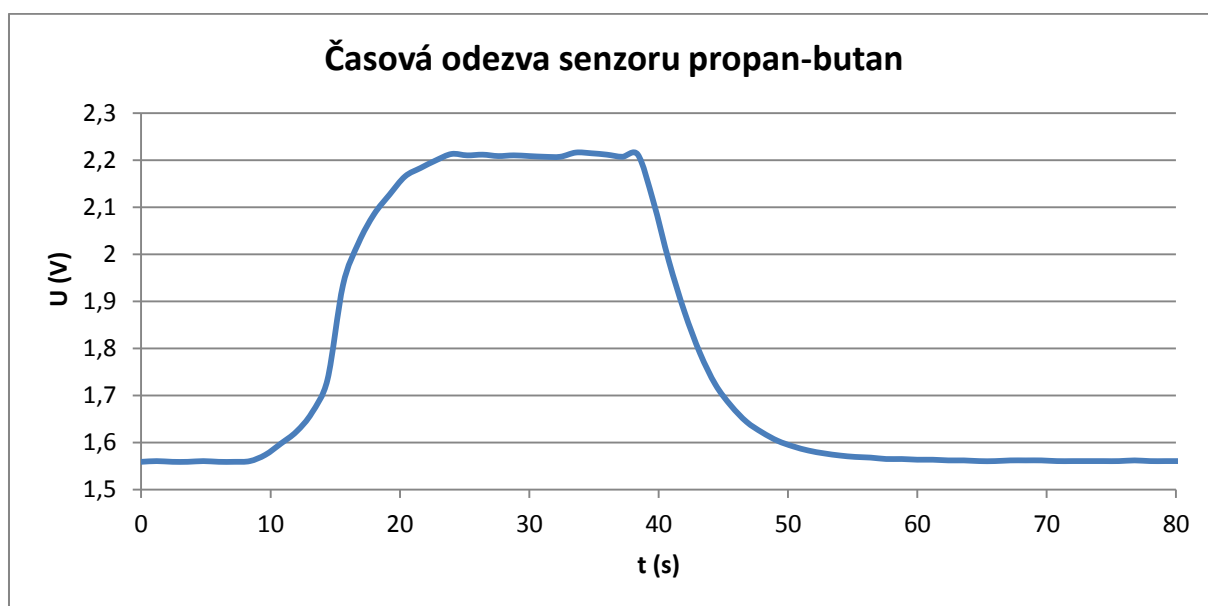
Obrázek 37 Závislost výstupního proudu na naměřeném napětí

5.2 Senzor MC119

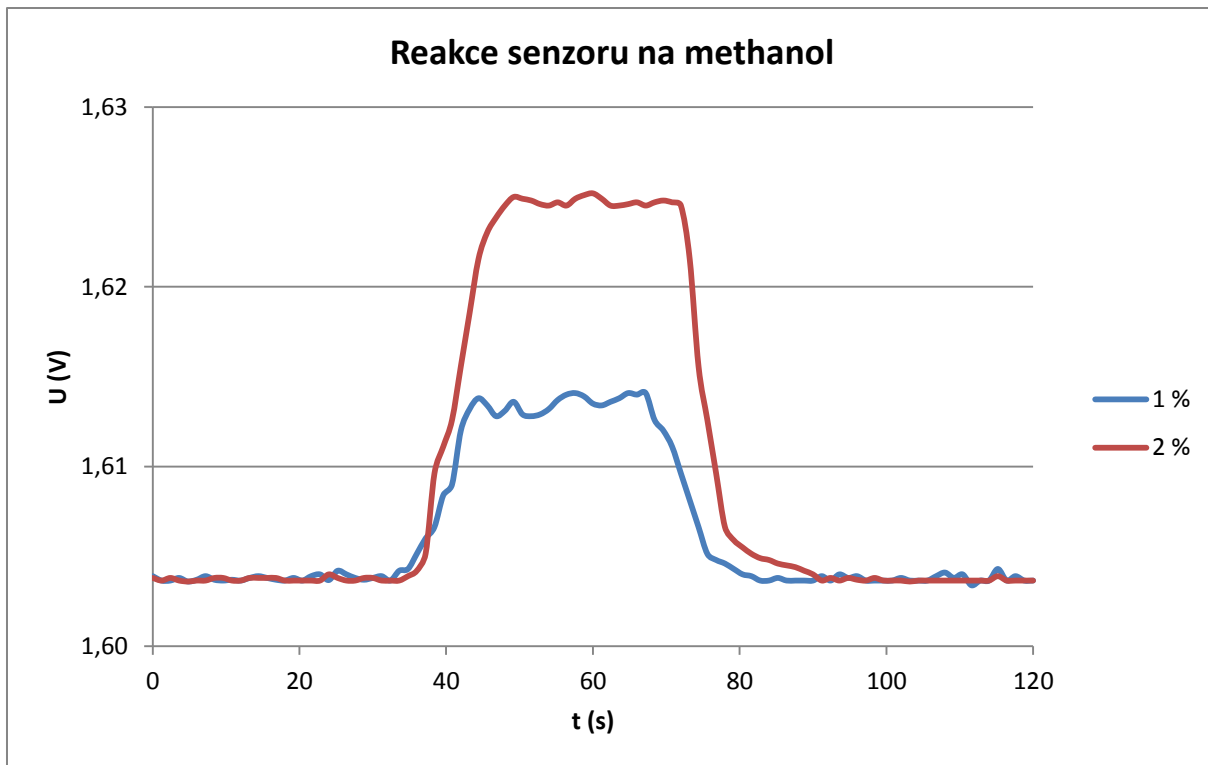
U katalytického senzoru MC 119 byla změřena časová odezva na přítomnost propan-butanu, reakce na přítomnost benzen a methanol. Z obrázku 38 vidíme, že časová odezva je 9,4 s a doba zotavení 8,4 s. Při porovnání naměřeného grafu s grafem od výrobce, který je na obrázku 7, je patrné, že měřený senzor má delší odezvu. Stáří měřeného senzoru jsou dva roky, což může být jeden z důvodů, proč měl měřený senzor delší dobu odezvy a zotavení. I přesto senzor splňuje katalogové hodnoty a lze jej používat.

Na obrázcích 39 a 40 je průběh napětí reakce senzoru na dva různé plyny o dvou různých koncentracích. Testované plyny byly methanol a benzen a reakce obou plynů vyšla dle očekávání, viz obrázek 38. Při koncentraci 1 % bylo na senzoru naměřeno napětí při přítomnosti benzenu 1,704 V, a při přítomnosti methanolu 1,625 V. Z toho je patrné, že senzor je více citlivý na benzen.

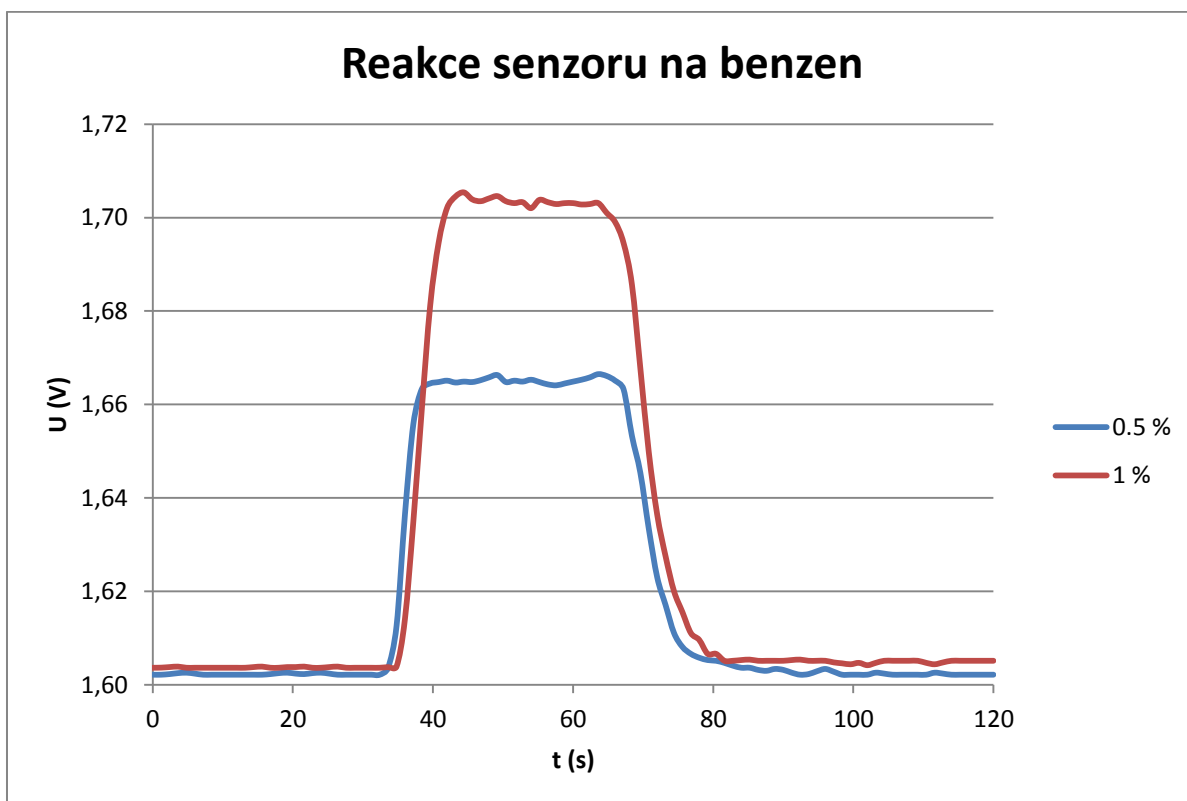
Obrázek 41 popisuje reakci senzoru na různé koncentrace plynu propan-butan. Průběh napětí je velmi nečekaný. V prvních 30 s je senzor v ustáleném stavu s nulovou koncentrací propan-butanu. Poté je na senzor po dobu 15 s přiveden propan-butan o různých koncentracích. Na počátku senzor zareaguje, ale po 2 s se začne napětí ze senzoru klesat. Z grafu je patrné, že čím větší koncentrace, tím větší pokles napětí nastane. Po 45 s senzor umístíme opět do ovzduší s nulovou koncentrací propan-butanu. Na obrázku 41 vidíme, že po odstranění propan-butanu nastane náhlý nárůst napětí ze senzoru, který po 2 s ustane a poklesne na napětí odpovídající nulové koncentraci. Tento jev se domnívám, že nastal z důvodu vysoké koncentrace plynu propan-butan a nedostatku kyslíku v senzoru. Po přivedení plynu propan-butan nastane hoření, a jelikož je koncentrace propan butanu vysoká tak po krátké době vyhoří kyslík, čímž nastane uhasínání senzoru. Poté co senzor dáme do prostředí s nulovou koncentrací propan-butanu, tak se do senzoru dostane kyslík a opět nastane hoření, až do doby kdy nevyhoří zbytky propan-butanu uvnitř senzoru.



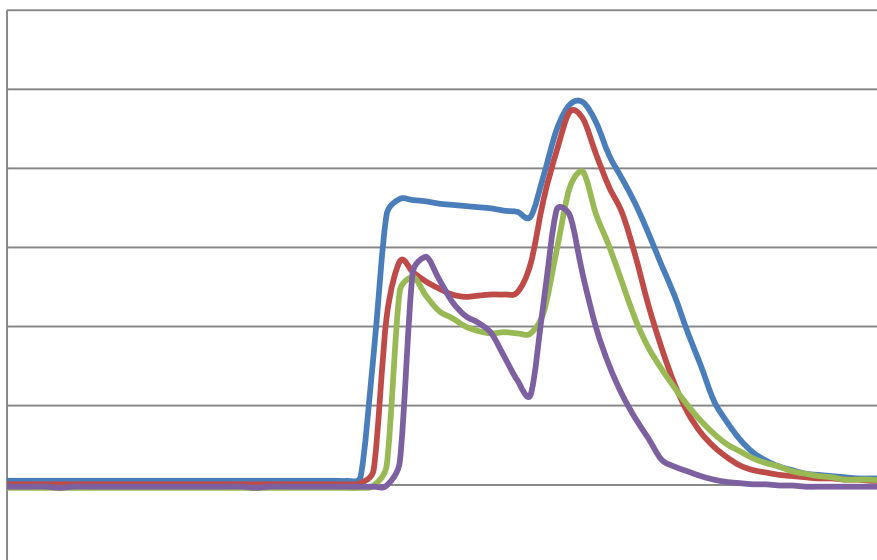
Obrázek 38 Časová odezva senzoru propan-butan



Obrázek 39 Reakce senzoru na methanol



Obrázek 40 Reakce senzoru na benzen



Obrázek 41 Reakce senzoru na propan-butan

6 Ekonomický rozbor

6.1 Rozpis součástek vyhodnocovací a řídicí části

Tabulka 1 Cena součástek vyhodnocovací a řídicí části

Skupina	Počet	Hodnota/název	Pouzdro	poznámka	Cena/ks	Suma
Odpory	1	0,27 Ω	R0805		0,16 Kč	0,16 Kč
	2	100 kΩ	R0805		0,16 Kč	0,32 Kč
	1	1 kΩ	R0805		0,16 Kč	0,16 Kč
	3	10 kΩ	R0805		0,16 Kč	0,48 Kč
	1	6800 Ω	R0806		0,16 Kč	0,16 Kč
	2	2 kΩ	R0805		0,16 Kč	0,32 Kč
	1	2200 Ω	R0805		0,16 Kč	0,16 Kč
	2	15 Ω	R0805		0,16 Kč	0,32 Kč
	4	680 Ω	R0805		0,16 Kč	0,64 Kč
	1	750 Ω	R0805		0,16 Kč	0,16 Kč
	1	100 Ω	R0806		1,16 Kč	1,16 Kč
	1	1300 Ω	R0805		0,16 Kč	0,16 Kč
	1	120 Ω	R0805		0,16 Kč	0,16 Kč
	1	1500 Ω	R0805		0,16 Kč	0,16 Kč
	1	39 kΩ	R0805		0,16 Kč	0,16 Kč
Kondenzátory	10	10 nF	C0805		0,24 Kč	2,40 Kč
	1	120 μF	CE_RM5/D10	50 V	6,42 Kč	6,42 Kč
	3	1 μF	C0805	50 V	0,24 Kč	0,72 Kč
	9	100 nF	C0805		0,24 Kč	2,16 Kč
	3	10 μF	C0805	16 V	0,24 Kč	0,72 Kč
	4	1 μF	C0805	16 V	0,61 Kč	2,44 Kč
	1	10 μF	C0805	10 V	0,24 Kč	0,24 Kč
Diody	2	MBRS140T3G	SMB		1,62 Kč	3,24 Kč
	1	SMBJ30CA	SMB		2,03 Kč	2,03 Kč
	1	LL103C	SOD80		0,80 Kč	0,80 Kč
	1	SMBJ6,5CA	SMB		2,31 Kč	2,31 Kč
	3	KP-2012SYC	LED0805	žlutá	1,72 Kč	5,16 Kč
	1	KP-2012SGC	LED0805	zelená	1,72 Kč	1,72 Kč
	1	OF-SMD2012B	LED0805	modrá	1,72 Kč	1,72 Kč
1	KP-2012SRC-PRV	LED0805	červená	1,72 Kč	1,72 Kč	
Tranzistory	1	BC856B	SOT23		0,24 Kč	0,24 Kč
	1	BSS83P	SOT23		1,22 Kč	1,22 Kč
Integrované obvody	1	LM22674MR-5.0	SO8		45,00 Kč	45,00 Kč
	1	SN65HVD07D	SOP8		70,10 Kč	70,10 Kč
	1	PIC24FJ64GC010	SOP8		106,70 Kč	106,70 Kč
	1	24AA512	SO8		32,00 Kč	32,00 Kč
	1	XTR111AIDGQ	PSOP10		36,37 Kč	36,37 Kč
	1	TPS3813150DBV	SOT23-6		27,27 Kč	27,27 Kč
Konektory	1	HEADER-1X2	S1G2	pinova lišta rozteč 2,54 1x2 piny		0,00 Kč
	2	červená	WAGO255-740		4,50 Kč	9,00 Kč
	1	červená-bočnice	WAGO255-500		1,14 Kč	1,14 Kč
	2	černá	WAGO255-742		4,40 Kč	8,80 Kč
	1	zelená	WAGO255-747		4,52 Kč	4,52 Kč
	2	modrá	WAGO255-744		4,60 Kč	9,20 Kč
	2	oranžová	WAGO255-746		4,42 Kč	8,84 Kč
	6	šedá	WAGO255-401		4,40 Kč	26,40 Kč
	2	sv.šedá	WAGO255-743		4,42 Kč	8,84 Kč
	1	sv.šedá-bočnice	WAGO255-300		1,14 Kč	1,14 Kč
	1	HEADER-1X6	S2G3	pinova lišta rozteč 2,54 1x6 pinů	5,10 Kč	5,10 Kč
	1	HEADER-1X16	S2G8	BL 8.16Z	5,20 Kč	5,20 Kč
	1	HEADER-2X7	ZL231-14PG	pinova lišta rozteč 2,54 1x7 pinů	5,10 Kč	5,10 Kč
	1	HEADER-2X3	S2G3	pinova lišta rozteč 2,54 2x3 piny	5,30 Kč	5,30 Kč
	1	BATERIE	CR2032H		15,00 Kč	15,00 Kč

Skupina	na	Skupina	Skupina	Skupina	Skupina	Skupina
Cívky	5		R0805	742792097	3,34 Kč	16,70 Kč
	1	15 µH	R0805	744043150	23,00 Kč	23,00 Kč
	1		R0805	1636272	44,48 Kč	44,48 Kč
Ostatní	1	8 MHz	XHC49SM		4,20 Kč	4,20 Kč
Celkem						559,34 Kč

6.2 Rozpis součástek pro displej s výstupními relé

Tabulka 2 Cena součástek pro displej s výstupními relé

Skupina	Počet	Hodnota/název	Pouzdro	poznámka	Cena/ks	Suma
Odpory	4	100 kΩ	R0805		0,80 Kč	3,20 Kč
	4	750 Ω	R0805		0,80 Kč	3,20 Kč
Kondenzátory	2	1 µF	C0805	16 V	0,61 Kč	1,22 Kč
Diody	3	KP-2012SYC	LED0805	žlutá	1,72 Kč	5,16 Kč
Displej	1	MIDAS		MCCOG21605B6W	166,59 Kč	166,59 Kč
Konektory	1	HEADER-2X8	SL 11 SMD 130 16 G		20,00 Kč	20,00 Kč
	8	sv.šedá	WAGO255-743		4,42 Kč	35,36 Kč
	2	sv.šedá-bočnice	WAGO255-300	nacvaknuta na K16	1,14 Kč	2,28 Kč
Tranzistory	4	IRLML2803	SOT23	IRLML2803TRPBF	1,40 Kč	5,60 Kč
Relé	4	JS-5N-K	RELEM15E		22,86 Kč	91,44 Kč
Celkem						330,85 Kč

6.3 Rozpis součástek senzorové části s katalytickým senzorem

Tabulka 3 cena součástek senzorové části s katalytickým senzorem

Skupina	Počet	Hodnota/název	Pouzdro	poznámka	Cena/ks	Suma
Odpory	1	1 Ω	R0805		0,16 Kč	0,16 Kč
	2	10 kΩ	R0805		0,16 Kč	0,32 Kč
	4	10 kΩ	R0805		0,16 Kč	0,64 Kč
	1	7500 Ω	R0806		0,16 Kč	0,16 Kč
	1	2400 Ω	R0805		0,16 Kč	0,16 Kč
Kondenzátory	2	1 µF	C0805	16 V	0,61 Kč	1,22 Kč
	2	100 nF	C0805		0,24 Kč	0,48 Kč
Integrované obvody	1	MCP9701A-E/TO	TO92	1439484	5,46 Kč	5,46 Kč
	1	24AA04H	SOT-23-5	24AA04HT-I/OT	4,13 Kč	4,13 Kč
SENZOR	1	MC-119			211,00 Kč	211,00 Kč
Konektory	1	HEADER-2X8	SL 11 SMD 130 16 G		5,30 Kč	5,30 Kč
Celkem						229,03 Kč

6.4 Cena výroby prototypu (s katalytickým senzorem a displejem)

Cena součástí(dle tabulek 1, 2 a 3)	1100 Kč
Cena plošného spoje	700 Kč
Osazování desky (trvání odhadem 7 hodin)	1000 Kč
Krabička a montážní materiál	100 Kč
Oživení a kalibrace	200 Kč
Celkem	3100 Kč

6.5 Cena sériové výroby (>500 kusů)

Cena plošných spojů	400 Kč
Osazení desky spolu se součástkami	1300 Kč
Krabička a montážní materiál	50 Kč
Oživení a kalibrace	50 Kč
Celkem	1800 Kč

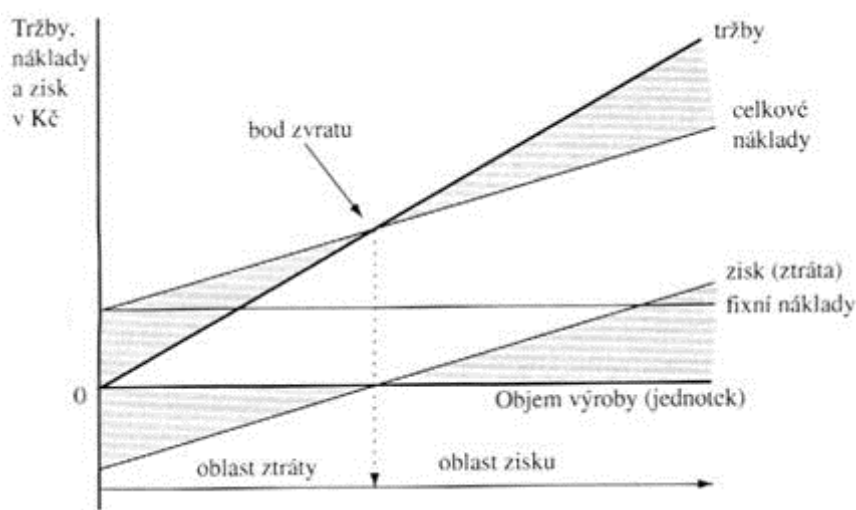
6.6 Celková cena výrobku

Celková cena výrobku se skládá ze tří položek, jimiž jsou variabilní náklady, fixní náklady a zisk. Celkové náklady na výrobek je jedno z kritérií, dle kterého se určuje, co se bude vyrábět a v jakém množství. Další důležitou složkou v roli rozhodování produkce je, jak velký

předpokládáme odbyt. Kombinací mezi těmito kritérii se zvolí ideální zastoupení všech výrobků, které firma vyrábí.

Objem výroby, který je pro firmu ziskový lehce zjistíme dle obrázku 42. Bod zvratu ukazuje, kdy se celkové náklady rovnají tržbě. To znamená, že v tomto bodě je zisk nulový. Ideální pro rozvoj firmy je pohybovat se nad bodem zvratu.

.



Obrázek 42 Náklady a tržby firmy (převzato z [15])

Variabilní náklady

Do této skupiny patří náklady, které se dají lehce určit na jeden kus výrobku. Jedná se o veškerý materiál, který se použil při výrobě, obalový materiál a mzdy výrobních dělníků. Dále sem patří energie spotřebovaná při výrobě, sociální a zdravotní pojištění z prostředků zaměstnavatele, které činí 34 % z hrubých mezd zaměstnanců. Musíme mít na paměti, že variabilní náklady rostou s objemem výroby.

Fixní náklady

Fixní náklady nejsou závislé na objemu výroby. To znamená, že existují, i když je výroba nulová. Pod těmito náklady si můžeme představit odpisy dlouhodobého majetku, nájemné, náklady na skladování výrobků, platy technicko-hospodářských pracovníků. Dále jde o provozní náklady, které přímo nesouvisí s výrobou, jako je například telefon, poštovné, kancelářské potřeby, zabezpečení prostor, kamery.

Zisk

Nedílnou součástí každého výrobku je zisk. Je to určité procento z celkových nákladů na výrobek. Je třeba zvolit procento takové, aby moc nenařezalo cenu výrobku. Příliš vysoká cena výrobku by mohla odradit kupce. Ale také příliš nízká cena by mohla u kupujícího vzbuzovat podezření. Konečná cena výrobku by neměla být nižší, než celková cena nákladů. Někdy je výhodnější, zvolit menší procento zisku, za účelem prodat více kusů výrobku a docílit vyššího konečného zisku. Zisk se velmi často investuje do rozvoje firmy, což může být vývoj nových produktů, propagace, modernizace a mnoho dalšího.

Daň z přidané hodnoty

Poslední věcí, která se vztahuje k ceně výrobku, je daň z přidané hodnoty, která se řídí dle zákona o DPH. Jedná se o dvě daně. Pro rok 2014 činí snížená daň 15 % a základní daň 21 %. DPH se počítá z celkové ceny výrobku.

7 Závěr

Největší vývoj v tuzemských firmách můžeme pozorovat u firmy Dega, ale i přesto se těžko vyrovná světové konkurenci, která má nabídku mnohem širší. Výrobci analyzátorů si obvykle vlastní senzory nevyrábí, ale kupují je od specializovaných firem. Nabídka podniků, zabývajících se detekcí plynů, se velmi často skládá z ústředí a detektorů do prostředí bez nebezpečí výbuchu, detektory do průmyslového prostředí, kompaktní detektory a příslušenství.

Analyzátor plynu byl navržen jako modulární kompaktní detektor s možností připojit různé druhy senzorů. Výstupy byly zvoleny jak analogové, tak i digitální. Další možností, jak analyzátor plynu vylepšit, je přidat bezdrátovou komunikaci, která se vyznačuje vysokou náchylností vůči rušení, a je zapotřebí ji kvalitně otestovat proti rušení.

Při porovnání navrženého analyzátoru plynu s analyzátory od firmy Dega se elektrické parametry velmi podobají, ale u detektorů vyráběných od Degy chybí několik funkcí, jako je ukládání historie, možnost připojit libovolný senzor a USB konektor. Dega ukládání dat řeší pomocí jejich ústředny, kterou lze připojit k počítači, kde se hodnoty ukládají. Dále ústředna umožňuje neustálé sledování systému přes internet, které navržený analyzátor neumí.

Analyzátor byl navržen, aby obsahoval většinu funkcí nabízených konkurencí. Zvolený mikrokontrolér umožňuje realizaci většiny z nich. Mezi jeho přednosti patří velmi kvalitní A/D převodník, který už není nutno přidávat na desku plošných spojů jako externí integrovaný obvod. Podobně to je i s převodníkem D/A, ale zůstává nutnost mít externí integrovaný obvod pro převod napětí/proud.

Analyzátor byl po oživení otestován, a to především jeho A/D převodník, výpočet koncentrace u katalytického senzoru a převodník napětí/proud. Výsledky dopadly dle očekávání. Signál ze senzoru byl mikrokontrolérem převeden z napěťového signálu na digitální signál, z kterého se vypočítala odpovídající koncentrace plynu. Dále jsme mohli vidět, že převodník napětí/proud funguje od 0 do 20 mA, jak bylo nastaveno. Senzor byl otestován na přítomnost plynů benzen, methanol a propan-butan a výsledky se shodovaly s katalogovými hodnotami.

Navržený analyzátor plynu vychází poměrně levně v porovnání s nabízenými analyzátory na trhu, ale v ceně není započítaný zisk a fixní náklady. Na trhu jsou k mání i levnější analyzátory plynu, které nabízejí základní funkci analyzátoru plynu, a to převod signálu ze senzoru, na proudový signál. Tato zařízení mají pouze analogovou část a neobsahují mikrokontrolér.

8 Literatura

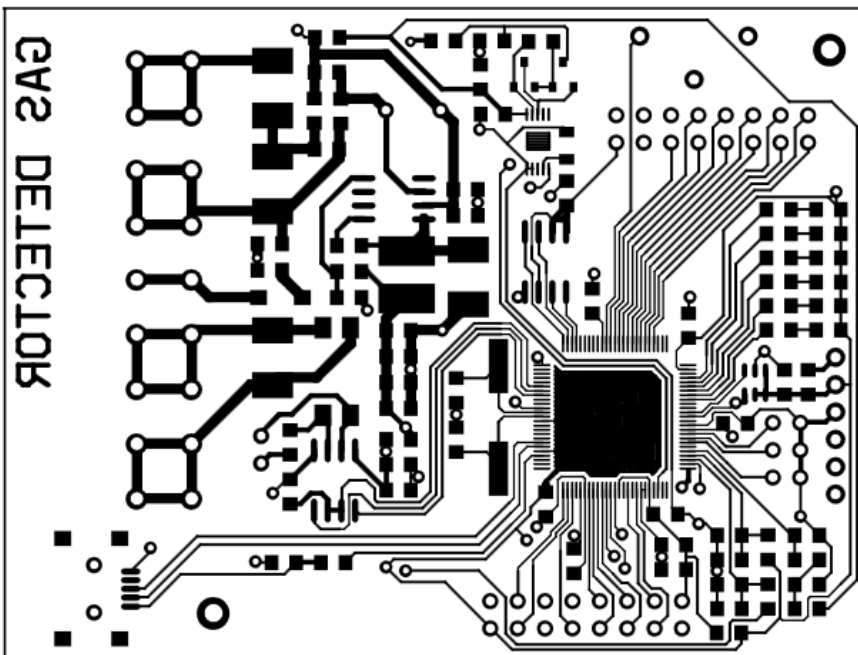
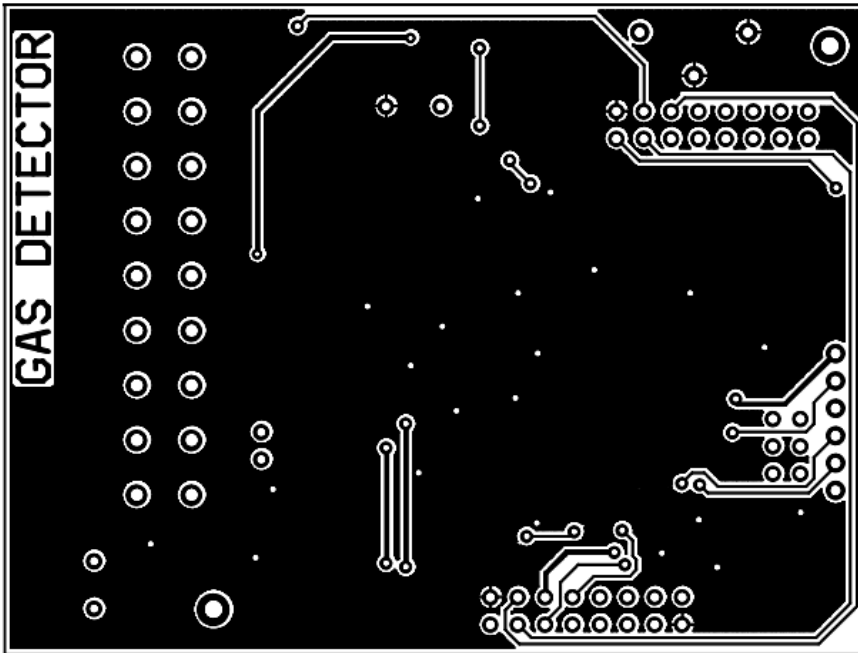
- [1] UHLÍŘ, Jan a Přemek NEUMANN. *Elektronické obvody a funkční bloky I*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999, 270 s. ISBN 80-010-1981-0.
- [2] UHLÍŘ, Jan a Přemek NEUMANN. *Elektronické obvody a funkční bloky II*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 269 s. ISBN 80-010-2394-X.
- [3] *Dega* [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.dega.cz>
- [4] *Aseko* [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.aseko.cz>
- [5] *J.T.O. Systém* [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.jto.cz>
- [6] *Technix* [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.technix.cz>
- [7] *Draeger* [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.draeger.com>
- [8] *Honeywell* [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.honeywell.com>
- [9] *MSA* [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.msasafety.com>
- [10] *Oldham* [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.oldham.cz>
- [11] Elektrická měření. *Spskladno* [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.spskladno.cz/vyuka/elm/adc.doc>
- [12] Převodníky sigma delta. In: *Ústav mikroelektroniky* [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/MTVP/prednasky/Sigma_delta.pdf

- [13] D/A převodníky. In: *Noel* [online]. 2007 [cit. 2014-04-30].
Dostupné z:
http://noel.feld.cvut.cz/vyu/scs/prezentace2007/DA_prevodniky/
- [14] Sériová rozhraní SPI, Microwire, I2 C a CAN. [online]. 2014
[cit. 2014-04-30]. Dostupné z:
http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhrani.pdf
- [15] Podnikovka. [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z:
<http://www.skolamvso.estranky.cz/clanky/podnikovka.html>
- [16] *Chromservice* [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z:
<http://chromservis.cz/cz/>
- [17] *Winsen* [online]. 2014 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z:
<http://www.winsensor.com/en/Default.html>
- [18] *Figaro* [online]. 2014 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z:
<http://www.figarosensor.com/>
- [19] *Membrapor* [online]. 2014 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z:
<http://www.membrapor.ch/>
- [20] *Dynamant* [online]. 2014 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z:
<http://www.dynamant.com/default.htm>

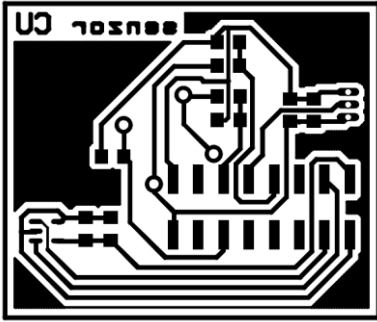
Seznam příloh

I.	Schéma řídicí a vyhodnocovací části.....	I
II.	Layout řídicí a vyhodnocovací části	II
III.	Layout sensorové části s katalytickým senzorem.....	III
IV.	Krabička KM31	IV
V.	Technické parametry senzorů	V
VI.	Seznam souborů na CD.....	VI

II. Layout řídicí a vyhodnocovací části



III. Layout sensorové části s katalytickým senzorem



IV. Krabička KM31



V. Technické parametry senzorů

Technické parametry MC119 (převzato z [17])

Technické parametry	
Pracovní napětí (V)	2,5 ± 0,1
Pracovní proud (mA)	100 ± 10
Citlivost (mV) 0,3% C ₂ H ₂	15 ~ 35
Linearita (%)	≤ 5
Zkušební rozsah (% LEL)	0 ~ 100
Doba odezvy (90%)	Méně než 10 s
Doba zotavení (90%)	Méně než 30 s
Pracovní prostředí	-40 Až 70 °C méně než 95% RH
Skladování	-20 Až 70 °C méně než 95% RH
Rozměry (mm)	Φ19mm × 15 mm

Technické parametry ME3-C12 (převzato z [19])

Technické parametry	
Citlivost CL ₂ /Air (μA/ppm)	1 ± 0,2
Rozsah (ppm)	0-20
Doba odezvy (90%)	<30 s
stabilita signálu za měsíc (%)	± 2
Tlak (kPa)	90 ~ 110
Pracovní prostředí	-20 Až 50 °C méně než 95% RH

Technické parametry hydrocarbon (převzato z [20])

Technické parametry	
Doba odezvy (90%)	<30 s
stabilita signálu za měsíc (%)	± 1
Pracovní prostředí	-20 Až 50 °C 0 až 95% RH
Váha (g)	7

VI. Seznam souborů na CD

1) Složka katalogové listy

- i) 24AA04.pdf
- ii) 24AA512.pdf
- iii) lm22674.pdf
- iv) lmp91000.pdf
- v) mcp9701.pdf
- vi) pic24fj64gc010.pdf
- vii) sn65hvd07.pdf
- viii) tps3813i50-q1.pdf
- ix) xtr111.pdf

2) Složka obrázky

- i) AD převodník.png
- ii) Aseko.png
- iii) citlivost pro senzor hydrocarbon.png
- iv) citlivost pro senzor MC119.png
- v) časová odezva senzoru MC119.png
- vi) DA převodník.png
- vii) Dega.png
- viii) displej.png
- ix) Dräger Safety.png
- x) grafy senzoru ME-C12.png
- xi) grafy senzoru TGS822.png
- xii) Honeywell.png
- xiii) I2C.png
- xiv) J.T.O. Systém.png
- xv) MSA Auer.png

- xvi) náklady a tržby firmy.png
- xvii) Oldhame.png
- xviii) princip elektrochemického senzoru.png
- xix) princip fotojonizačního senzoru.png
- xx) princip infračerveného senzoru.png
- xxi) princip katalytického senzoru1.png
- xxii) princip katalytického senzoru2.png
- xxiii) princip polovodičového senzoru.png
- xxiv) sigma-delta modulátor1.png
- xxv) sigma-delta modulátor2.png
- xxvi) SPI.png
- xxvii) Technix.png
- xxviii) teplotní závislost senzoru MC119.png

3) Složka ostatní

- i) displej a výstupní relé.pcb
- ii) displej a výstupní relé.sch
- iii) plošný spoj řídicí a vyhodnocovací části
- iv) plošný spoj sensorové části s katalytickým senzorem
- v) řídicí a vyhodnocovací část.pcb
- vi) řídicí a vyhodnocovací část.sch
- vii) sensorová část s elektrochemickým senzorem.sch
- viii) sensorová část s infračerveným senzorem.sch
- ix) sensorová část s katalytickým senzorem.pcb
- x) sensorová část s katalytickým senzorem.sch
- xi) sensorová část s polovodičovým senzorem.sch

4) Lukas Mistr.pdf