

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2018

Jan Fučík



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ AKTIVITY VČELSTVA

DEVICE FOR HONEY BEE ACTIVITY MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Fučík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marek Novák

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**
Ústav radioelektroniky

Student: Jan Fučík

ID: 186063

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Zařízení pro měření aktivity včelstva

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Včelařství hraje důležitou roli v potravinářském průmyslu. V poslední době je nicméně velké množství včelstev napadáno nemocemi (varroáza). Včely si tedy zaslouží větší pozornost z oblasti výzkumu.

Provedte rešerši ohledně možností měření aktivity včelstva. Zaměřte se na optimalizaci měřicího systému z pohledu spotřeby. Popište systémový návrh různých principů měření aktivity včelstva a popište výhody a nevýhody jednotlivých metod s ohledem na spotřebu výsledného měřicího zařízení a ekonomickou náročnost řešení. Vyberte jednu metodu pro měření aktivity včelstva pro pozdější realizaci.

Realizujte zařízení pro měření aktivity včelstva. Umožněte integrovatelnost navrženého zařízení do systému pro měření ostatních parametrů včelstva dostupných na trhu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] TOULSON, Rob. a Tim. WILMSHURST. Fast and effective embedded systems design: applying the ARM mbed. Boston, MA: Elsevier, 2012. ISBN 978-0080977683.

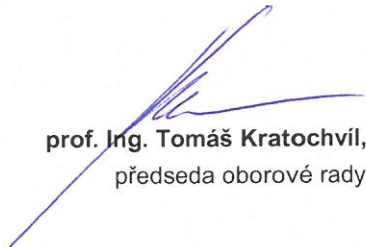
[2] MACII, Enrico. Ultra low-power electronics and design. Boston: Kluwer Academic Publishers, c2004. ISBN 978-1-4020-8076-0.

Termín zadání: 5. 2. 2018

Termín odevzdání: 15. 8. 2018

Vedoucí práce: Ing. Marek Novák




prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda oborové rady

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 práce se před samotným návrhem zařízení věnuje charakteristickému chování včel. Uvažuje neelektrické veličiny, které mohou chování včel reprezentovat. Následuje popis komponentů, které mohou být pro měření jednotlivých veličin využity. Zaměřuje se na dosažitelnou přesnost a hlavně spotřebu potenciálně využitelných komponent. Následně je vybrána vhodná metoda měření. Úměrně vybrané metodě jsou vybrány snímací prvky a navržen řídicí obvod. Závěrem jsou shrnuty parametry zařízení. U částí, které nefungují dle předpokladů jsou navrženy možné úpravy.

KLÍČOVÁ SLOVA

včela, úl, teplota, zvuk, snímač, rojení, energetická náročnost

ABSTRACT

This thesis engages in characteristic honey bee's behaviour first. Subsequently it engages in project of device for honey bee activity measurement. It reasons about non-electric quantities which can honey bee's behaviour represent. Description of components which can be use for measure these quantities follows. Description is intent on possible accuracy and energy consumption of each component. Appropriate method is selected subsequently. In realitionsip with method are selected sensors and projected controlling circuit. There is a summary of parameters of device in resume. There is also design of the parts which do not work as good as is ideal in resume.

KEYWORDS

honey bee, hive, temperature, voice, sensor, swarming, energy consumption

FUČÍK, Jan. *Zařízení pro měření aktivity včelstva*. Brno, 2018, 51 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce: Ing. Marek Novák

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Zařízení pro měření aktivity včelstva“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Marku Novákovi, za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Dále děkuji panu Ing. Jaromíru Markovi za cenné rady ze včelařské praxe.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

OBSAH

Úvod	10
1 Sledované veličiny	12
1.1 Typické zvuky	12
1.2 Teplota	13
1.3 Koncentrace oxidu uhličitého	13
1.4 Relativní vlhkost	14
2 Měření teploty	15
2.1 Aktivní snímače	16
2.1.1 MCP9700	16
2.1.2 DS18B20	16
2.2 Pasivní snímací prvky	17
2.2.1 Pozistory	18
2.2.2 Negistory	18
2.2.3 Kovové teplotně závislé prvky	18
2.3 Srovnání teplotních snímačů	19
3 Měření koncentrace oxidu uhličitého	20
3.1 TGS4161	20
3.2 Telaire 6613	21
4 Měření relativní vlhkosti	22
4.1 HTS221	22
4.2 HIH5030/5031	22
5 Nahrávání a analýza zvuku	25
5.1 Nahrávání	25
5.2 Frekvenční analýza	25
5.3 Mikrofon	26
5.3.1 INMP411	26
5.3.2 Elektretové mikrofony	26
6 Prototyp zařízení	27
6.1 Mikrokontrolér	27
6.1.1 Taktování a čas	28
6.1.2 Komunikace se zařízením	28
6.2 Zapojení mikrofonu	29

6.3	Zapojení teploměrů	29
7	Parametry zvukového řetězce	30
8	Úpravy zapojení	31
8.1	Náhrada vadného pouzdra SRAM	31
8.2	Upravená verze modulu mikrofonu	31
9	Programové vybavení	33
10	Napájení a energetická náročnost	34
10.1	Spínač NCP382	34
10.2	Rozdělení napájení	34
10.3	Příkon zařízení	34
11	Závěr	36
	Literatura	37
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	40
	Seznam příloh	42
A	Základní deska	43
B	Konstrukce mikrofonu	46
C	Ukázky zdrojových kódů	49
D	Obsah přiloženého CD	51

SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Rozdělení snímačů teploty	15
2.2	Blokové schéma snímače DS18B20. [20]	17
2.3	Pořadí bitů na výstupu snímače DS18B20 při formátu 9 bitů.	17
3.1	Přírůstek výstupního napětí čidla TGS4161 v závislosti na koncentraci CO ₂ [19]	21
4.1	Hystereze převodní charakteristiky při vzrůstající a klesající relativní vlhkosti [18]	23
4.2	Odlišnost směrnice převodní charakteristiky, při teplotě 0 °C a 70 °C [17]	24
6.1	Topologie prototypu zařízení	27
A.1	Schéma zapojení desky mikrokontroléru	43
A.2	Deska mikrokontroléru, strana součástek v měřítku 1,7:1	44
A.3	Deska mikrokontroléru, strana spojů v měřítku 1,7:1	44
A.4	Schéma zapojení náhradní DPS s pamětí	45
A.5	Náhradní deska paměti, strana spojů v měřítku 1,5:1	45
B.1	Schéma zapojení modulu mikrofonu	46
B.2	Modul mikrofonu, strana součástek v měřítku 3:1	46
B.3	Modul mikrofonu, strana spojů v měřítku 3:1	47
B.4	Schéma zapojení vylepšeného modulu mikrofonu	47
B.5	Vylepšený modul mikrofonu, strana součástek v měřítku 3:1	48
B.6	Vylepšený modul mikrofonu, strana spojů v měřítku 3:1	48

SEZNAM TABULEK

2.1 Srovnání parametrů teplotních snímačů	19
---	----

ÚVOD

Včelařství, ať už je koníčkem nebo povoláním, vyžaduje velkou píli, spoustu práce a věnovaného času. Včelstva vyžadují stálou péči a pozornost. Péče není důležitá pouze z hlediska, aby včelař měl přehled o tom, zda už nastala vhodná chvíle na vytáčení medu. Hlavním důvodem je ochrana před možnými nemocemi, kvůli kterým musí být v nejhorsích případech včelstva likvidována, aby se choroby dále nešířily. V přírodě hrají včely absolutně nezastupitelnou roli opylovačů. Drtivá většina rostlinné produkce je závislá na opylení květů, bez něhož by nemohly narůst vytoužené plody.

Jistým způsobem, jak zajistit nad včelstvem neustálý dohled, je zkonstruovat zařízení, které by sledovalo aktivitu včel. Před samotnou konstrukcí zařízení je nutné ujasnit, jak lze takovou aktivitu kvantifikovat. Docela jasnou představu o tom, zda probíhá snůška může dát vývoj hmotnosti úlu. Zdravotní stav včel je možné posuzovat podle teploty v úlu. Kromě nemocí se každý včelař většinou snaží zabránit přirozenému rojení včel. Odchov nových včelstev si řídí sám. V ideálním případě by výsledkem této práce mohlo být zařízení, které dokáže nastávající rojení včas odhalit. Pokud by se takto rojení podařilo odhalit, včelař stihne včas zakročit a vyhne se nepříjemnostem v podobě odchytu roje ze stromu.

V současné době existují komerčně dostupná zařízení, která se zabývají toutéž problematikou. Tato práce proto zohlední možnost integrovat navržené zařízení do již funkčního systému.

1 SLEDOVANÉ VELIČINY

O zdravotním stavu a kondici včelstva vypovídají čtyři zásadní ukazatele: teplota, relativní vlhkost, úroveň oxidu uhličitého a kyslíku obsaženého ve vzduchu uvnitř úlu[4]. Zejména podle teploty je možné odhadnout počet včel v úlu. Je totiž logické, že pohybující se včely vytvářejí teplo. Bohužel samotným sledováním těchto čtyř parametrů si nelze udělat zcela přesný obraz o kondici včelstva. Zejména teplota a vlhkost jsou velmi výrazně ovlivňovány venkovními podmínkami. Je proto žádoucí v analýze dat zohlednit i klimatické podmínky, za kterých byla data získána. Neméně důležitým parametrem, který musí být při analýze dat zohledněn, je také denní doba. Včely se odlišně chovají ve dne a v noci.

Na první pohled se může zdát sledování tolika veličin až zbytečné, ale bohužel ani již zmíněná měření nevypovídají dostatečné množství informací o chování včel. O pohybu a chování včel může dobře vypovídat jejich typické bzučení.

1.1 Typické zvuky

Pohybující se včely typicky vytvářejí bzučivý zvuk ve frekvenčním rozsahu 120 Hz až 250 Hz[2, strana 1]. Pokud jsou tedy ve spektru nejvýraznější frekvenční složky v tomto rozsahu, s největší pravděpodobností je včelstvo v pořádku jak po stránce aktivity, tak i zdravotního stavu.

Mezní situace nastává ve chvíli, kdy začnou být výrazné složky s frekvencí vyšší než 285 Hz[1]. Je dokázáno, že v takovém případě s největší pravděpodobností nastává rojení. Zvuk o vyšší frekvenci typicky produkuje nová matka. Pro včelaře jasný signál, že má zasáhnout, aby se mu, pokud možno, vyhnul. Rojení se projevuje tak, že v kolonii se objeví dvě matky a začnou si konkurovat. Stávající matka s polovinou populace opustí úl a založí novou kolonii. Rojení má pro včelaře neblahý důsledek v tom, že přijde o polovinu jednoho včelstva, kterému věnoval spoustu času, ale hlavně včelař přijde o část produkce medu.

Rojení však není při překročení hranice 285 Hz úplně nejnutnějším scénářem. Tato varovná frekvence může také indikovat to, že včelí kolonie je vyrušována. Zdrojem takového vyrušování, kterému se včely snaží bránit, může být umělý zdroj v okolí úlu. Zároveň však mohl do úlu proniknout nezvaný host. Běžně do úlů pronikají mravenci, které láká sladký med. Včely se takové invazi přirozeně brání, což lze pozorovat jako změnu dominantní frekvence bzučení.

1.2 Teplota

Teplota se v průběhu dne jistým způsobem vyvíjí. Mohlo by se zdát, že v úlu by měla být stále konstantní teplota po celý den. Opak je pravdou. Teplota v úlu zdravého včelstva v průběhu dne kolísá. Naopak v noci, kdy se včely zdržují v úlu se teplota ustálí na poměrně konstantní hodnotě.

Včely mají pro regulaci teploty dobře vybavený aparát. Aby teplotu snížily, donesou do úlu vodu nebo vytvoří průvan. Potřebné proudění vzduchu vytvářejí včely větračky tak, že pohybují křídly a setrvávají na místě. Na výrobu tepla mají uzpůsobeny hrudní svaly. O zahřívání se starají včely topičky tak, že obsadí prázdnou buňku v plástvi a pohybem hrudních svalů ji zahřívají. Tímto mechanismem včely udržují konstantní teplotu pláství, ve kterých se nacházejí plody. Pro správný vývoj plodu je plástev udržována při teplotě 35 °C. Teplotu vzduchu v úlu však už takto stabilní nelze očekávat.

Zdravé kolísání teploty souvisí s denní aktivitou včel. Ve dne dospělé včely tzv. dělnice z úlu vylétají na sběr potravy a vody. Právě v tuto chvíli hraje velmi důležitou roli aktuální počasí. Pokud bude deštivo, včely z úlu nevyletí. Na teplotě se to projeví tak, že zůstane konstantní tak jako byla po celou noc. To, že ráno teplota nepoklesne, tak ještě nemusí nutně znamenat, že včely přestaly úplně vyletovat za snůškou. Tudíž je na místě, vývoj teploty uvnitř úlu vztáhnout k venkovní teplotě a množství srážek.

Potenciální nemoc včelstva se projeví nárůstem teploty v ranních hodinách. Nemocné včely z úlu nevylétají ani když je k tomu vhodné slunečné počasí. Teplota v úlu tak stoupá v důsledku venkovního oteplení a pak v důsledku přítomnosti více včel uvnitř úlu.

1.3 Koncentrace oxidu uhličitého

Stejně tak jako teplota, tak i obsah oxidu uhličitého ve vzduchu uvnitř úlu se vyvíjí s určitou závislostí na venkovních podmínkách. Koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře se průměrně pohybuje okolo 400ppm. Dá se očekávat, že obsah CO₂ v úlu bude o něco větší, jelikož se jedná o uzavřený prostor a rozptylové podmínky jsou horší než na volném prostranství. Pro správnou výměnu plynů uvnitř úlu je nezbytné proudění vzduchu. Jelikož má úl pouze jeden vstupní otvor, nazývaný česno, obtížně v něm může fungovat přirozená cirkulace vzduchu. Jakýkoliv jiný otvor včely okamžitě zacpávají, k tomu používají jeden ze svých produktů - propolis. Proudění vzduchu z velké části napomáhá pohyb včel.

Z koncentrace CO₂ je možné posoudit množství dospělých včel uvnitř úlu. Zejména na jaře, kdy se líhne nová populace včel, může být koncentrace oxidu uhličitého vyšší

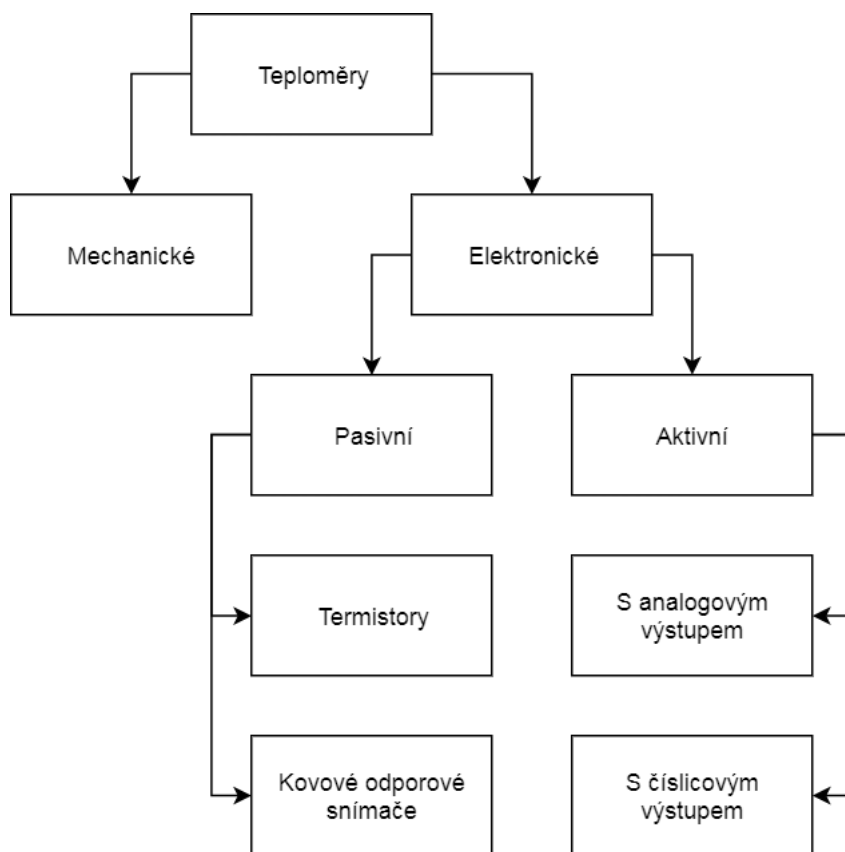
než v pozdější době. Vyvíjející se larvy produkují CO_2 a v úlu je méně dospělých včel, které by svým pohybem vzduch více rozvířily. V pozdějších měsících, kdy už jsou larvy vyvinuté v dospělé jedince, mohou nadlimitní koncentrace CO_2 znamenat, že došlo k rojení.

1.4 Relativní vlhkost

S počátkem aktivního období na jaře včelám stoupá potřeba vody. Hlavním důvodem je péče o plod nové generace. Každodenní ranní aktivitou včel tak je sběr rosy. S tím, jak se vyvíjí mladá generace potřeba vody klesá. Zároveň s postupujícím časem včely zahušťují med, který je v počátku jeho tvorby bohatý na vodu. Pokles relativní vlhkosti v úlu tak může být pro včelaře signálem, že se blíží doba na vytáčení medu.

2 MĚŘENÍ TEPLoty

Teplota v úlu se dá očekávat v kladných hodnotách. Rozmezí měřených teplot je úzké, rozsah teplot pravděpodobně nebude větší než 40 °C při měření teploty uvnitř úlu. Jelikož je pro správné vyhodnocení získaných dat nutné zohlednit i teplotu venkovní, která se v průběhu roku může pohybovat v extrémních případech v rozmezí -25 °C až +40°C, je nutné zvolit snímač i pro tyto teploty. Úzké rozmezí teplot je výhodné z hlediska linearity snímače. Snímač teploty by měl být malý, aby jej bylo možné do úlu snadno zabudovat a nepůsobil jako rušivý element. Požadována je také nízká energetická náročnost. Teplota se bude měnit pomalu, není nutné měřit spojitě, ale postačí zaznamenávat hodnoty ve vhodných časových intervalech, které budou zjištěny experimentálně.



Obr. 2.1: Rozdělení snímačů teploty

2.1 Aktivní snímače

Aktivním snímačem, je myšlena elektronická součástka, která po připojení napájení generuje na svém výstupu signál úměrný teplotě jejího okolí. Aktivní snímač nepotřebuje ke své činnosti další externí komponenty. Výstupní signál může být analogový, typicky je teplota reprezentována napětím na výstupním pinu, nebo výstup funguje jako komunikační rozhraní, po kterém je vysílána posloupnost binárních hodnot.

2.1.1 MCP9700

Tento snímač je označován jako aktivní lineární termistor. Byl vyvinutý firmou Microchip. Svou konstrukcí splňuje požadavky kladené na konstruované zařízení.

Snímač ke své činnosti vyžaduje napájecí napětí v rozmezí 2,3 V až 5,5 V, výrobce garantuje maximální odebíraný proud 12 μ A. Velkou výhodou představuje snadné zapojení, čidlo se připojuje pomocí tří vývodů. Dva jsou napájecí, na třetím je výstupní napětí. Čidlo má lineární převodní charakteristiku se směrnicí 10 mV/°C. V rozsahu teplot, který je uvnitř úlu očekáván, je udávána mezní přesnost $\pm 2^\circ\text{C}$.

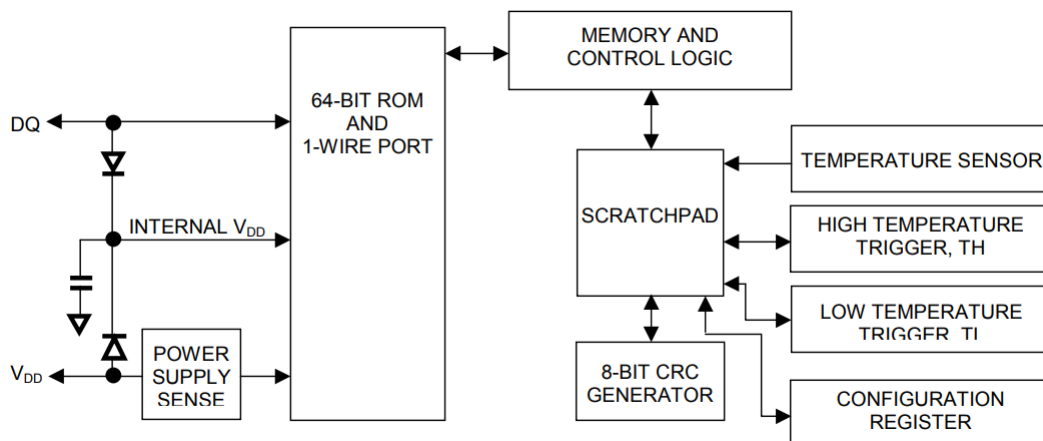
Výrobce uvádí referenční hodnotu napětí při teplotě 0 °C 500 mV. Při očekávaném rozmezí teplot tak bude zpracováváno malé napětí v rozsahu pouze 500 mV až 900 mV. Takto malé rozpětí způsobí při přímém zpracování analogově digitálním převodníkem (ADC) hrubé rozlišení, protože nebude využit celý vstupní rozsah ADC, ale pouze jeho malá část. Ve zpracovávaném rozsahu se bude nacházet málo kvantovacích hladin.

Z pohledu integrovatelnosti snímače do úlu bude nejvýhodnější použít provedení v pouzdře TO-92, které lze zavést do úlu otvorem o průměru 5 mm.

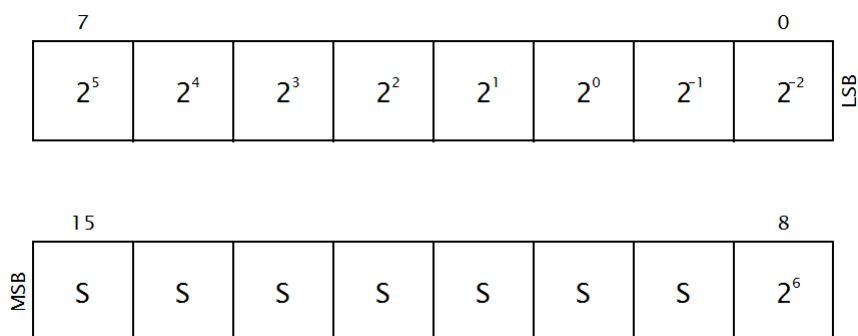
2.1.2 DS18B20

Snímač vyvinutý firmou Dallas Semiconductor. Velkou výhodou opět poskytuje nenáročné zapojení. Kromě dvou napájecích pinů je snímač osazen jedním datovým vstupně-výstupním pinem, který funguje jako jednovodičové komunikační rozhraní. Komunikace mezi snímačem a mikrokontrolérem je realizována přímým připojením vstupně-výstupního portu na vstup mikrokontroléru a spojením zemních svorek.

Napájecí napětí lze zvolit mezi 3 V a 5,5 V v případě externího napájení. Na vstupu označeném jako V_{DD} není přítomnost stálého napětí vyžadována. Snímač dokáže fungovat na základě napájení ze sběrného kondenzátoru, který se nabíjí z datového vodiče DQ, pokud je na něm vysoká logická úroveň, jak ukazuje obrázek (Obr. 2.2). V předpokládaném rozsahu měřených teplot výrobce udává přesnost $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Na datovou sběrnici se vysílá vždy rámec šestnácti bitů.



Obr. 2.2: Blokové schéma snímače DS18B20. [20]



Obr. 2.3: Pořadí bitů na výstupu snímače DS18B20 při formátu 9 bitů.

Podle nastaveného rozlišení je teplota ve stupních Celsia reprezentována devíti nebo až dvanácti bity, které jsou řazeny od LSB po MSB. Záporná čísla jsou vyjádřena ve formátu dvojkového doplňku. Počet bitů, které vyjadřují číselnou hodnotu, ovlivňuje počet zobrazovaných desetinných míst. Celočíselnou část vždy vyjadřuje sedm bitů. Jelikož snímač je konstruován do teploty 125 °C, je nejvyšší přenášená mocnina 2^6 .

2.2 Pasivní snímací prvky

Tato kapitola se zaměří na konstrukci snímačů sestavených pouze z pasivních prvků jako jsou polovodičové termistory a kovové teplotně závislé rezistory. Výsledné zapojení nebude interně obsahovat převodník apod. Výstupem snímače bude napětí, ze kterého bude teplota vypočítána algoritmem na základě fyzikálních parametrů

teplotně závislého prvku. Pasivní měřicí obvod je možné uzpůsobit tak, aby při zpracování výstupního napětí snímače prostřednictvím ADC, byl využit celý jeho vstupní rozsah.

2.2.1 Pozistory

Pojmem pozistor, je označován polovodičový termistor typu PTC s kladným teplotním součinitelem odporu. Ačkoliv by měl odpor PTC termistoru s rostoucí teplotou růst, neděje se tak v celém jeho předepsaném rozsahu teplot. Od minimální teploty odpor mírně klesá až do bodu Curieovy teploty, od které pak strmě roste. Curieova teplota se pohybuje okolo 50 °C. Klesající tendenci odporu do bodu Curieovy teploty lze přibližně považovat za lineární. V předpokládaném rozsahu teplot měřených v této práci se bude i PTC termistor chovat jako prvek s negativním teplotním součinitelem odporu.

2.2.2 Negastory

Pojem negastor označuje termistor typu NTC s negativním teplotním součinitelem odporu. Odpor negastoru monotónně klesá v celém použitelném rozsahu teplot. Průběh odporu v závislosti na teplotě má tvar klesající exponenciály. Při zanedbání proudu procházejícího termistorem je odpor přímo popsán rovnicí

$$R_T = Ae^{\frac{B}{T}} \quad (2.1)$$

R_T	odpor termistoru při teplotě T	[Ω]
A	konstanta vyjadřující rozměry pouzdra	[-]
B	materiálová konstanta	[-]
T	termodynamická teplota okolí	[K]

2.2.3 Kovové teplotně závislé prvky

Obecně platí, že elektrický odpor každého vodiče s teplotou roste. Odpor kovu v závislosti na teplotě popisuje vztah

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (2.2)$$

R	odpor vodiče při teplotě, T	[Ω]
R ₀	odpor při vztážené teplotě, obvykle 0 °C	[Ω]
α	teplotní součinitel odporu kovu vodiče	[K ⁻¹]
T	termodynamická teplota vodiče	[K]

Tento vztah je dostatečně přesný v rozsahu 0 °C až 100 °C. Přesnější vztah obsahuje navíc ještě kvadratický a kubický člen. Příspěvky těchto členů se projevují mimo, v této práci uvažovaný, rozsah.

V technických listech kovových odporových snímačů je udáván jako hlavní parametr poměr odporu čidla při teplotě 100 °C ku odporu při teplotě 0 °C. Označuje se W₁₀₀, vypočte se dle vztahu

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} \quad (2.3)$$

W ₁₀₀	poměr odporů čidla	[-]
R ₁₀₀	odpor čidla při teplotě 100 °C	[Ω]
R ₀	odpor čidla při teplotě 0 °C	[Ω]

Běžně dostupné jsou platinové snímače Pt100 s odporem R₀ = 100 Ω nebo Pt1000 s odporem R₀ = 1000 Ω . Vedle platiny jsou snímače vyráběny také za použití niklu, mědi nebo slitiny železa a niklu.

2.3 Srovnání teplotních snímačů

Každý snímač se vyznačuje továrními parametry, které mohou být sebelepší. Nicméně nevhodným používáním nebo špatnou konstrukcí zapojení mohou být znehodnoceny.

Tab. 2.1: Srovnání parametrů teplotních snímačů

Název	Přesnost	Odběr v režimu standby [μ A]	Rozměry [mm]
MCP9700	± 2 °C	12	4,5×4,5×3,2
DS18B20	$\pm 0,5$ °C	1	4,5×4,5×3,2
PTC	± 1 %	závisí na zapojení	4,8×5,2×4,2
NTC	± 10 %	závisí na zapojení	průměr 5,5 mm, tloušťka 5 mm

3 MĚŘENÍ KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO

Čidla na měření koncentrace CO_2 většinou obsahují dvě elektrody, mezi kterými je vloženo pevné dielektrikum. Na těchto elektrodách je generováno napětí, které vzniká chemickou reakcí vzdušného CO_2 se zahřátým dielektrikem. Celek se tak chová jako elektrický článek.

Pasivní čidlo má typicky čtyři vývody: dva jsou spojené s elektrodami článku, na zbylé dvě se připojuje zdroj žhavicího proudu. Pokročilejší čidla fungují na principu optické spektroskopie.

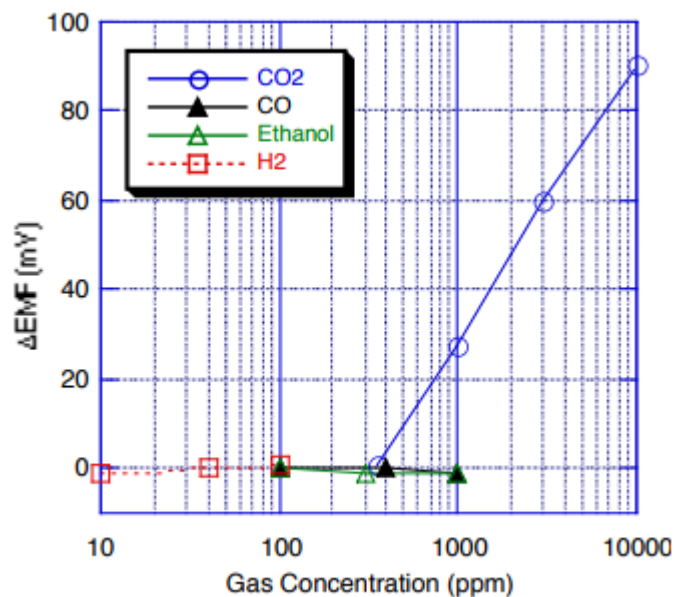
3.1 TGS4161

Toto čidlo pracuje na principu elektrického článku popsaného výše. Takovýto elektrický článek je však velmi měkký zdroj. Aby nebyl zatěžován, musí být generované napětí přivedeno na vstup měřicího zesilovače o velmi vysoké impedanci až $100 \text{ G}\Omega$. Čidlo je schopné zpracovat koncentrace v rozmezí 350 ppm až 10 000 ppm. Výrobce garantuje nezávislost měření na relativní vlhkosti okolí. Zároveň garantuje necitlivost na jiné druhy plynů, jakými mohou být oxid uhelnatý a vodík nebo páry ethanolu. Necitlivost vůči jiným látkám je zajištěna zeolitovým absorbérem, který je osazen na vrchní straně krytu čidla.

Měření nízkých koncentrací tímto čidlem, které se v úlu dle předpokladů pohybují okolo 500 ppm, přináší problém. Minimální měřitelné koncentraci 350 ppm odpovídá napětí, které se může pohybovat v rozmezí 220 mV až 490 mV. Při vzrůstu koncentrace ke 450 ppm, napětí vzroste pouze o 10 mV. Závislost mezi koncentrací a napětím je přibližně exponenciální.

Provoz čidel oxidu uhličitého, které pracují na výše popsaném systému je v nízkopříkonových systémech obecně problém. Topná odporová vrstva v době ohřevu čidla odebírá proud 50 mA po dobu 1,5 minuty. Správná funkce čidla závisí na teplotě dielektrika, proto je na topném rezistoru vyžadováno stabilní napětí $5 \text{ V} \pm 0,2 \text{ V}$.

Čidlo je zapouzdřeno do kulatého kovového pouzdra o průměru 9,5 mm vysokého 12,5 mm. Kompaktními rozměry tak nebude čidlo integrované do úlu působit jako rušivý element. Konstrukce měřiče oxidu uhličitého je finančně náročná, pořizovací cena čidla se pohybuje okolo 1 200 Kč.



Obr. 3.1: Přírůstek výstupního napětí čidla TGS4161 v závislosti na koncentraci CO₂ [19]

3.2 Telaire 6613

Modul Telaire 6613 je plně automatický měřicí systém. Měřicím ústrojím je ne-disperzivní infračervený senzor, který se principem funkce řadí mezi spektroskopické metody detekce plynů.

Automatická funkce čidla umožňuje přímo reprodukovat data, která modul vysílá po sériové lince UART rychlostí 19 200 Bd. Systém je schopen zpracovávat koncentrace pod 400 ppm, ale s nezaručenou přesností. V rozmezí 400 ppm až 1 250 ppm výrobce zaručuje přesnost ± 30 ppm. Modul vyžaduje stejnosměrné napájení +5 V s tolerancí ± 5 %.

Z ekonomického pohledu je realizace systému s tímto modulem velmi nákladná, pořizovací cena modulu 6613 se pohybuje okolo 4 500 Kč. Vzhledem k rozměrům 57×35×15 mm je modul obtížně integrovatelný do úlu. Relativně nevhodný je také z pohledu provozních podmínek, lze jej provozovat při teplotách od 0 °C do 50 °C.

4 MĚŘENÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI

Čidla relativní vlhkosti jsou často konstruovaná jako kombinace vlhkostního a teplotního čidla. Snímacím prvek vlhkosti je většinou planární kapacitor s polymerovým dielektrikem. Kapacitní metoda měření relativní vlhkosti se vyznačuje rychlou odezvou, ale zároveň malou hysterezí.

4.1 HTS221

Snímacím prvkem je zde planární kapacitor. Snímač podporuje komunikaci rozhraním TWI nebo SPI. Interně obsahuje šestnáctibitový ADC jak pro data vlhkosti tak i data teploty. V rozsahu relativní vlhkosti od 20 % do 80 % výrobce deklaruje přesnost $\pm 3,5$ %. Odezva na změnu vlhkosti trvá v prostorech se vzduchem proudícím rychlostí 1 m/s 10 s. V úlu však lze takové proudění jen těžko očekávat. Doba odezvy se tak určitě prodlouží, neboť dielektrikum bude vysychat delší dobu.

Přesnost měření teploty je definovaná $\pm 0,5$ °C v rozmezí 15 °C až 40 °C. Pro měření uvnitř úlu by měl být provozní rozsah postačující. Nabízí se tedy možnost měřit teplotu i vlhkost jediným čidlem.

Oproti všem předchozím snímačům je tento specifický z pohledu napájení. Snímač je vhodný pro nízkopříkonové a nízkonapěťové systémy. Napájecí napětí může být pouze 1,7 V, nejvýše pak 3,6 V. Odběr proudu v aktivním stavu je maximálně 2 μ A, v režimu spánku pak 0,5 μ A. Z hlediska integrovatelnosti do úlu je tento snímač zvláště výhodný. Pouzdro HPGA-6L zabírá plochu pouze 2×2 mm, vysoké je pouze 0,9 mm.

4.2 HIH5030/5031

Snímacím prvkem je opět polymerový planární kapacitor. Typy 5031 se od typu 5030 liší přidanou membránou, která brání kondenzaci vlhkosti na snímacím kapacitoru. Senzor je analogový, měřenou relativní vlhkost reprezentuje výstupní napětí. Vnitřní obvody navíc zajišťují lineární převodní charakteristiku, která je zvláště výhodná při zpracování výstupního napětí mikrokontrolérem.

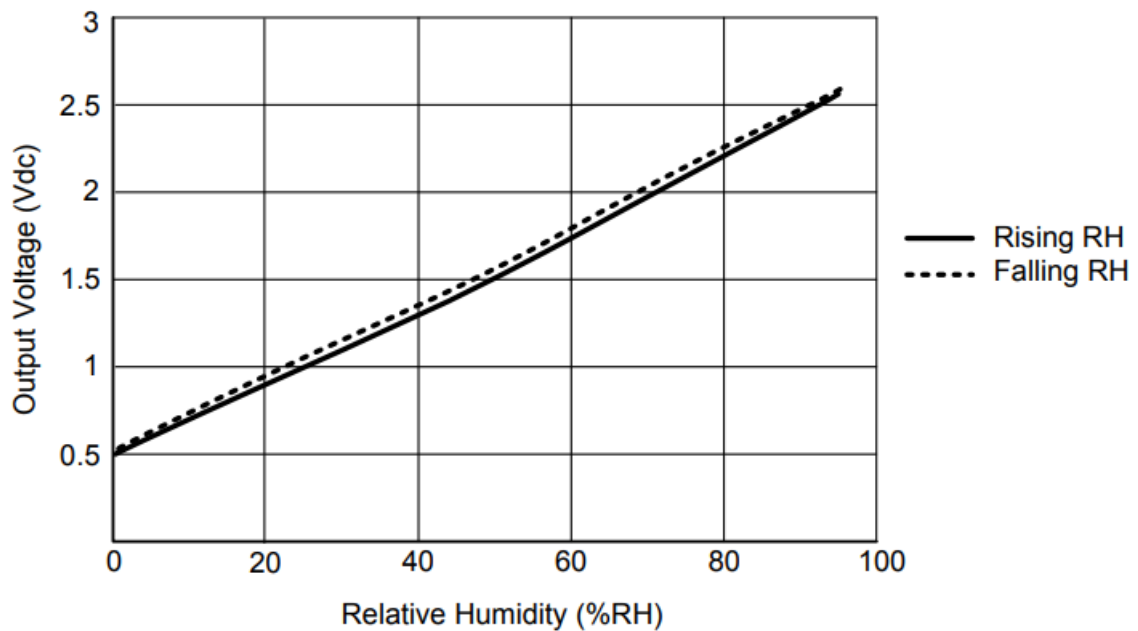
Čidlo je navrženo pro systémy s napájecím napětím 3,3 V. Podporováno je i napájení 5 V, ale při tomto napětí nebylo čidlo testováno, nejsou tak zaručeny deklarované vlastnosti. Kontinuální odběr proudu je typicky 200 μ A, ale může dosáhnout i maxima 500 μ A. Doba odezvy při pomalu proudícím vzduchu je 5 s.

Relativní vlhkost se z výstupního napětí vypočte podle vztahu[15, strana 2]

$$RH = \frac{V_{OUT} - 0,1515}{0,00636} \quad (4.1)$$

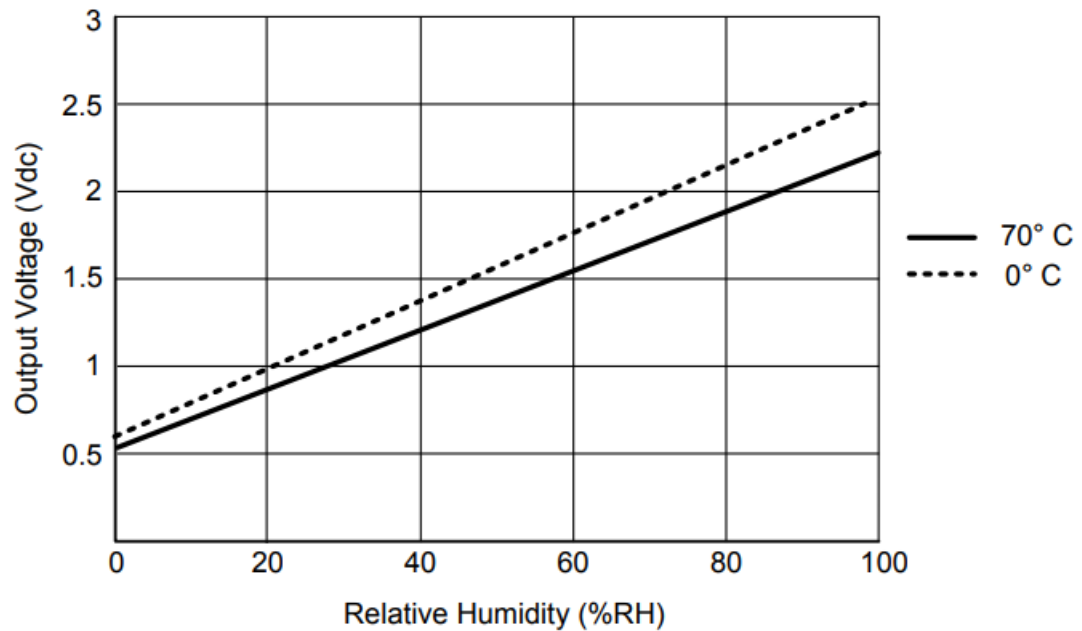
V_{OUT}	výstupní napětí	[V]
V_{DD}	napájecí napětí	[V]
RH	relativní vlhkost	[%]

Převodní charakteristika čidla vykazuje velmi mírnou hysterezi.



Obr. 4.1: Hystereze převodní charakteristiky při vzrůstající a klesající relativní vlhkosti [18]

Z obrázku (Obr. 4.1) je patrné, že hystereze je velmi malá a ve zde popisované aplikaci ji bude možné zanedbat. Úplně zanedbat však nepůjde závislost měřené relativní vlhkosti na teplotě. Výrobce uvádí v technickém listu vedle vztahu pro výpočet vlhkosti z napětí (4.1) ještě korekční vztah pro určení skutečné relativní vlhkosti v závislosti na teplotě.



Obr. 4.2: Odlišnost směrnice převodní charakteristiky, při teplotě 0 °C a 70 °C [17]

Odlišnost převodních charakteristik na obrázku (Obr. 4.2) koriguje vztah [15, strana 2]

$$RH_T = \frac{RH}{1,0546 - 0,00216\theta} \quad (4.2)$$

5 NAHRÁVÁNÍ A ANALÝZA ZVUKU

Aby bylo možné zvuk analyzovat, je potřeba jej zaznamenat v dostatečné kvalitě a dostatečně dlouhý úsek. Potřebám zvukového záznamu je nutné přizpůsobit velikost paměťového média, ve kterém budou nahrávky uchovávané před dalším zpracováním.

5.1 Nahrávání

Základním parametrem digitálního zvuku je vzorkovací frekvence f_{vz} . Šanonův-Kotělníkovův teorém říká, že vzorkovací frekvence musí být minimálně dvakrát větší než frekvence nejvyšší harmonické složky obsažené ve vzorkovaném signálu. Včely vydávají charakteristický zvuk s kmitočtem v řádu stovek Hertzů (viz. kapitola 1.1). Návrh vhodné techniky záznamu včelího bzučení bude nadále vycházet z předpokladu, že nejvyšší harmonická složka nebude mít kmitočet vyšší než 1 kHz. Teoreticky tak stačí vzorkovat s frekvencí 2 kHz. V praxi se však volí vyšší násobky. S ohledem na dostupnou velikost paměti hraje důležitou roli výsledná velikost zvukového souboru. Ta narůstá s rostoucím vzorkovacím kmitočtem, bitovou hloubkou a délkou záznamu.

$$FS = \frac{f_{vz} n t_{trv}}{8000} \quad (5.1)$$

FS	výsledná velikost souboru vzorků	[kB]
f_{vz}	vzorkovací frekvence	[Hz]
n	bitová hloubka	[bit]
t_{trv}	doba trvání záznamu	[s]

Stejně jako u všech předchozích veličin nebude nutné zaznamenávat hodnoty kontinuálně, nebude ani u zvuku nutné nahrávat nepřetržitě 24 hodin denně.

5.2 Frekvenční analýza

Pro snadné zjištění frekvenčního spektra je vhodné aplikovat algoritmus rychlé Fourierovy transformace (FFT). Využití tohoto algoritmu správně funguje za předpokladu, že počet vzorků signálu je roven některé mocnině dvou.

$$N = 2^x \quad x \in 0, 1, 2, 3, \dots \quad (5.2)$$

Aby byla splněna podmínka na počet vzorků zpracovávaných algoritmem FFT, bude vzorkovací kmitočet nastaven tak, aby byl roven mocnině dvou. Délka jednoho záznamu bude omezena na celé sekundy, čímž se zachová podmínka pro zpracování

signálu pomocí FFT. Přesný počet vzorků lze navíc zajistit ve zdrojovém kódu pro výpočet FFT.

5.3 Mikrofon

V této aplikaci jsou na výběr mikrofonu kladeny požadavky: všesměrovost, nízký příkon a napájecí napětí 3,3 V, malý vlastní šum, vysoká citlivost. Z důvodů integrovatelnosti do úlu jsou také požadovány co nejmenší rozměry.

5.3.1 INMP411

Jedná se o zařízení typu MEMS (Micro Electronic Mechanical System, mikro elektromechanický systém). Výhodou těchto součástek jsou velmi malé rozměry. Toho je dosaženo tím, že mechanické ústrojí je osazeno na jednom čipu spolu s polovodičovou technologií. Na čipu tohoto mikrofonu je integrován zesilovač. Bližší parametry zesilovače však výrobce neuvádí. U mikrofonu INMP411 výrobce garantuje minimální citlivost -48 dB, což při referenční úrovni 1 V/Pa odpovídá 4 mV/Pa. Mikrofon má vyrovnanou frekvenční charakteristiku v rozsahu 28 Hz až 20 kHz. Při snímání zvuku s nízkou úrovní, hraje důležitou roli vlastní šum mikrofonu. U tohoto mikrofonu odpovídá šumovému pozadí výstupní úroveň napětí $-108 \text{ dBV} \approx 4 \text{ } \mu\text{V}$.

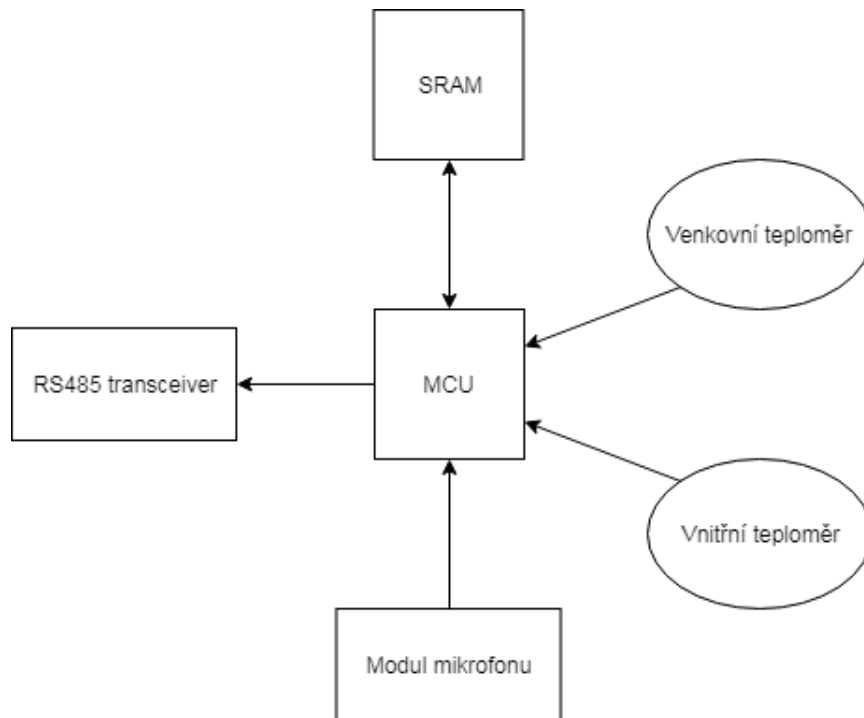
5.3.2 Elektretové mikrofony

Fungují na principu elektrostatického mikrofonu. Chvěním membrány, která je jednou z elektrod, se mění kapacita mezi elektrodami. Oproti elektrostatickému mikrofonu, který potřebuje polarizační napětí, je u elektretového mikrofonu jedna elektroda opatřena vrstvou elektretu. Elektret je dielektrický materiál nesoucí permanentní elektrický náboj.

Citlivost elektretových mikrofonů je srovnatelná se zařízeními MEMS. Mají ale obecně horší tvar frekvenční charakteristiky, která není na nízkých kmitočtech pod 100 Hz vyrovnaná. Frekvenční charakteristika na kmitočtech pod 100 Hz klesá až o 3 dB oproti maximální hodnotě.

6 PROTOTYP ZAŘÍZENÍ

Hlavním účelem popisovaného zařízení je, pokusit se včas odhalit hrozící rojení a efektivně posoudit zdravotní stav včelstva. Rojení lze nejlépe odhalit ze zvukového projevu včel, zdravotní stav z vývoje teploty. I když je možné měřit další veličiny, konstruované zařízení se omezí pouze na analýzu zvuku a vývoj vnitřní a venkovní teploty. Záměrně z ekonomických důvodů se realizace vyhne měření koncentrace oxidu uhličitého.



Obr. 6.1: Topologie prototypu zařízení

6.1 Mikrokontrolér

Celý systém je řízen mikrokontrolérem STM32F030RCT6. V počátku návrhu bylo počítáno s ukládáním dat pouze do flash paměti mikrokontroléru. Tomu byl také podřízen jeho výběr, když byla požadována interní flash paměť kapacitou alespoň 128 kB. Použitý MCU disponuje 256 kB. Přístup k flash paměti je ale možný pouze po blocích. Metoda tohoto přístupu by působila potíže jak při ukládání a čtení dat vzorkovaného zvuku, tak při operacích s daty z teploměrů, která je nutné zpracovávat bit po bitu. Úměrně s velikostí paměti u MCU narůstá také počet integrovaných funkčních bloků a vstupně výstupních portů. Z toho důvodu je také v zařízení osazen

MCU s 51 vstupně výstupními piny, i když zařízení neobsahuje ani zdaleka takové množství periferních zařízení. Přebytek volných I/O portů je využit pro paralelní přenos dat do externí paměti SRAM s kapacitou 128 kB a šířkou datové sběrnice 8 bitů. Schéma zapojení řídicí desky s mikrokontrolérem je na (Obr. A.1).

6.1.1 Taktování a čas

I když MCU obsahuje několik interních zdrojů hodinového signálu, jak vysokofrekvenčního tak i nízkofrekvenčního, jsou použity externí zdroje. Zdrojem nízkofrekvenčního signálu pro obvody reálného času (RTC) je krystal s rezonanční frekvencí 32,768 kHz. Zdrojem vysokofrekvenčního signálu pro taktování jádra procesoru je krystal s rezonanční frekvencí 24 MHz.

Ne všechny bloky mikrokontroléru, typicky sériové linky SPI, TWI, UART, jsou schopny pracovat při taktu 24 MHz. Nastavením interních děliček kmitočtu je hodinový signál pro obvody sériové komunikace omezen na 1,5 MHz

Obvody reálného času obsahují synchronní a asynchronní děličku kmitočtu. Nastavením hodnoty 127 pro asynchronní děličku a hodnoty 255 pro synchronní děličku je odvozen signál o kmitočtu 1 Hz, který zajišťuje udržení reálného času.

6.1.2 Komunikace se zařízením

Za účelem ověření funkčnosti a interpretace naměřených hodnot je zařízení vybaveno transceiverem SN75HVD12R pro sběrnici RS-485, který je připojen na kanál USART3. Vodič RX pro přenos přijímané posloupnosti je přiveden na pin PC11 a vodič TX pro přenos vysílané posloupnosti je přiveden na pin PC10. K ovládání směru komunikace nelze využít integrovanou funkci řízení toku. Směr komunikace je ovládán signálem DE/RE, jehož vysoká úroveň aktivuje vysílání na sběrnici a nízká úroveň naopak aktivuje příjem ze sběrnice. Prostřednictvím této sériové linky a převodníku na USB je možné zařízení připojit k uživatelskému počítači a tam zpracovat získaná data. Osazení RS-485 transceiverem umožňuje požadovanou integrovatelnost do již dostupných zařízení, která tuto sériovou linku využívají pro komunikaci se všemi snímači.

Při komunikaci s uživatelským počítačem je také možné transceiver SN75HVD12R vynechat a komunikovat pomocí některého ze zbývajících pěti kanálů USART. V příložené verzi zdrojového kódu jsou aktivovány kanály 3 a 6, přičemž kanál 3 je připojen k transceiveru

Plnohodnotně fungující zařízení by však mělo poskytovat vzdálenou komunikaci, aby bylo možné kdykoliv zkontrolovat aktuální dění v úlu. Bezdrátovou komunikací například prostřednictvím sítě GSM se tato práce nezabývá.

6.2 Zapojení mikrofonu

Mikrofon INMP411 je zapojen dle katalogového doporučení výrobce. Schéma zapojení je součástí přílohy (Obr. B.1). Kombinace rezistoru R7 a kondenzátoru C26 tvoří filtr typu horní propust. Mezní kmitočet tohoto filtru je

$$f_m = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 15,9 \text{ Hz} \quad (6.1)$$

Mikrofon je interně vybaven výstupním zesilovačem. Úměrně velikosti výstupního napětí mikrofonu je nastaveno zesílení následujícího zesilovacího stupně s operačním zesilovačem (OZ) v neinvertujícím zapojení. Zesílení je podle zjednodušeného vztahu přibližně rovno

$$A_U \approx 1 + \frac{R_6}{R_5} = 1 + \frac{50}{1} = 51 [-] \quad (6.2)$$

Operační zesilovač je od výrobce navržen pro nízkopříkonová zařízení. Vstupní signál označený SHDN (shut down) ovládá napájení OZ. Nízká logická úroveň na vstupu SHDN odpojuje napájení. Protože je ale možné odpojit od napájení celý modul mikrofonu, prostřednictvím spínače NCP382, je vstup SHDN trvale připojen k napětí 3,3 V.

6.3 Zapojení teploměrů

Teploměry pro měření vnitřní a venkovní teploty nepotřebují ke své činnosti žádné externí obvody. Datový vodič jednovodičové sběrnice je připojen přímo k mikrokontroléru na pin PB5 respektive PB6. Jednovodičová sběrnice vyžaduje ke své funkci připojení pull-up rezistoru. Protože jeho osazení na DPS autor opomněl, je pull-up zajištěn programově. Oba teploměry by mohly být připojeny pouze na jeden I/O. Připojením každého zvlášť vznikly dvě jednovodičové sběrnice. Napájení obou teploměrů je připojeno ke kanálu 2 spínače NCP382.

7 PARAMETRY ZVUKOVÉHO ŘETĚZCE

Na výstupu samotného MEMS mikrofonu bez připojeného operačního zesilovače byla při zkušebním tónu o frekvenci 1 kHz a SPL ≈ 50 dB naměřena amplituda střídavého napětí 15 mV. Uvažujeme-li osmi bitový ADC s rozsahem vstupních napětí 0 V - 3,3 V (napájecí napětí), pak kvantovací krok převodníku je

$$\Delta U = \frac{U_{INmax}}{2^8} = \frac{3,3}{256} = 0,0128 \text{ V} \quad (7.1)$$

Výstupní napětí mikrofonu je pouze o 2 mV větší než kvantovací krok ADC. Reálně by tak byly, při SPL = 50 dB, využity pouze první dvě kvantovací úrovně.

Malé výstupní napětí mikrofonu je zesíleno operačním zesilovačem v zapojení neinvertujícího zesilovače. Z důvodů jednoduchého napájení je použit OZ s nesymetrickým napájením. Nesymetricky napájený zesilovač do výstupního signálu vždy zavádí stejnosměrnou složku. Zesilovač zapojený podle schématu (Obr. B.1) zavádí na výstup stejnosměrné napětí 120 mV - 150 mV. Velikost tohoto napětí se mírně liší v závislosti na buzení vstupu. Přitom velikost stejnosměrného napětí na výstupu (ofset), je možné nastavit přivedením referenčního napětí na vývody rezistorů R7 a R5, které jsou dle schématu (Obr. B.1) připojeny na potenciál země. Tím, že je ofset výstupu nastaven pouze na asi 150 mV, dochází zdola k omezování užitečného signálu. Nastavením ofsetu na polovinu napájecího napětí tj. 1,65 V, je možné dosáhnout maximálního možného rozkmitu výstupního napětí.

8 ÚPRAVY ZAPOJENÍ

V různých fázích konstruování a testování prvního prototypu byly objeveny nedostatky, které vyžadují radikální úpravy zapojení.

8.1 Náhrada vadného pouzdra SRAM

Paměť SRAM je integrována v pouzdře SOIC32. Problém s nevhodným pouzdrém vznikl už při návrhu desky v programu Eagle. Žádná ze standardních knihoven tento typ pouzdra neobsahuje. K dispozici jsou pouze jeho menší varianty se čtrnácti nebo osmi vývody. Volně dostupné knihovny v noha případech obsahují chyby v rozměrech pouzder. Nabízí se tak jednoduché řešení problému, kterým je pouhé prodloužení pouzdra SOIC8. Zachováním rastru stávajících pájecích plošek a jejich kopírováním je dosaženo požadovaného počtu pinů. Pouzdra SOIC8 a SOIC32 se však neliší jen délkou a počtem pinů, ale také šířkou. S touto odlišností autor práce nepočítal, což způsobilo, že paměť není možné na základní desku, jejíž obraz vrchní strany je na (Obr. A.2), osadit. Stranu spojů pro ilustraci zobrazuje (Obr. A.3).

Výroba kompletní nové základní desky, včetně nepájivé masky a servisního potisku je časově náročná a přináší další náklady. Řešením tak je návrh další DPS, na které je umístěna pouze paměť a s deskou mikrokontroléru je spojena svazkem vodičů. Schéma zapojení pro připojení paměti (Obr. A.4) tak obsahuje pouze samotnou paměť a pájecí plošky pro připájení propojovacích vodičů. Vodivé cesty jsou navrženy tak, aby původní pájecí plošky korespondovaly s pozicemi jednotlivých vodičů a zároveň byla deska pouze jednostranná (Obr. A.5).

Připojení externí paměti pomocí jednotlivých vodičů, které by byly připájené na plošky původního pouzdra se také ukázalo jako velmi nespolehlivé, protože při pohybu vodičů docházelo ke zkratům. S ohledem na nevhodnou konstrukci mikrofonu se SRAM stala nepotřebnou, tudíž je nadále vypuštěna.

Vhodnějším řešením, které by mohlo být v případě potřeby realizováno, je připojení externí paměti komunikující po sběrnici SPI. Pro zařízení se sběrnicí SPI je na DPS osazen konektor JP2.

8.2 Upravená verze modulu mikrofonu

Aby bylo možné zvýšit offset výstupu, je nutné do zapojení modulu mikrofonu přidat zdroj referenčního napětí (V_{ref}). Zdroj referenčního napětí je tvořen děličem s rezistory R8 a R9 a operačním zesilovačem v zapojení napěťového sledovače (Obr.

B.4). Na DPS (Obr. B.2) není dostatek prostoru pro přidání dalších součástek. Možností by bylo doplnit zdroj referenčního napětí externě na samostatný plošný spoj, podobně jako u paměti SRAM. Od počátku návrhu zařízení je však kladen důraz na co nejmenší rozměry měřicích komponent. Navíc zásahem do stávajícího motivu plošného spoje by byla znemožněna další funkčnost modulu. Z pohledu minimalizace rozměrů je tak nejlepším řešením navrhnout novou desku plošného spoje (Obr. B.5, B.6). Návrh nového plošného spoje požadavek na rozměry splňuje dokonale, oproti původní verzi je ta nová jen o 7 mm větší podél jedné hrany.

Referenční napětí má být nastaveno na polovinu napájecího. Toho je docíleno rezistorovým děličem napětí s dělicím poměrem 1:1. Rezistory R5 a R7 (Obr. B.1) nelze k děliči napětí připojit přímo. Přímým spojením s rezistorem R7 by vzniklo sériové spojení R7 a R9. Tím by se sice snížil mezní kmitočet horní propusti, ale velikost zesílení by velmi klesla.

$$f_m = \frac{1}{2\pi(R_7 + R_9)C} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 110^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 1,447 \text{ Hz} \quad (8.1)$$

Přímé spojení s rezistorem R5 by také vytvořilo sériovou kombinaci, v jejíž důsledku by se snížilo napěťové zesílení (A_U) OZ.

$$A_U \approx 1 + \frac{R_6}{R_5 + R_9} = 1 + \frac{50}{101} = 1,495 [-] \quad (8.2)$$

Dělič napětí proto musí být od ostatních obvodů impedančně oddělen. K impedančnímu oddělení slouží operační zesilovač zapojený jako napěťový sledovač.

9 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Při tvorbě zdrojového kódu je nutné získat odezvu zařízení, do kterého je kód nahráván. Pomocí prostředí STMCube byl vygenerován kód, který zajistí připojení knihoven nezbytných pro chod požadovaných funkčních bloků a inicializační funkce těchto bloků (viz. příloha C.3). Pro ověření funkce sériové komunikace byl vytvořen krátký program (viz. příloha C.2). Funkcí ***HALGPIOWritePin*** je nastavena logická 1 na pinu označeném DE/RE, který je součástí portu A. Následně zavoláním funkce ***HALUARTTransmit*** je odeslán znak uložený v proměnné *buffer*. Přenos je řízen parametry uloženými ve struktuře *huart3*, která náleží bloku USART3.

Po úspěšné kompilaci a nahrání kódu do procesoru je možné na sériovém portu počítače prostřednictvím programu PuTTY sledovat cyklicky odesílaný znak. Popsaný program by měl teoreticky běžet nekonečně dlouhou dobu. Bohužel se však z dosud nezjištěných příčin chod programu zastavil a ani po opětovném nahrání kódu a restartování MCU už se nerozběhl.

Po testování sériové komunikace přenosem jediného znaku, měly být přenášeny hodnoty uložené ve struktuře *RTCTimeTypeDef* a *RTCDateTypeDef*. Tím by byla přenesena informace o aktuálním datu a času. Po odeslání data a času měly být odeslány hodnoty teplot přečtených z venkovního a vnitřního teploměru.

10 NAPÁJENÍ A ENERGETICKÁ NÁROČNOST

U konstruovaného zařízení je kladen požadavek na co nejmenší spotřebu energie jak v aktivním stavu, kdy probíhá sběr dat, tak i v mezičasech mezi zaznamenáváním dat.

Spotřebu v aktivním stavu je možné snížit volbou vhodných součástek. Od počátku návrhu jsou vybírány součástky, které jsou určeny pro nízkopříkonová zařízení.

V časech kdy neprobíhá záznam dat - z teploměrů nebo vzorkování zvuku - jsou aktivní pouze samotný mikrokontrolér a paměť. Zbylé komponenty je možné odpojit od napájení.

Všechny komponenty vyžadují napájecí napětí 3,3 V.

10.1 Spínač NCP382

Jedná se o polovodičový spínač s jedním vstupem a dvěma výstupy. Prostřednictvím tohoto spínače tak je možné distribuovat jedno napájecí napětí do dvou míst spotřeby. Spínání výstupů je ovládáno dvěma logickými signály na vstupech EN1 a EN2, přičemž každý ovládá právě jeden výstup. Vysoká logická úroveň výstup spíná. Obvodem lze spínat napětí od 2,5 V do 5,5 V, maximální přípustný proud jednoho kanálu je 1,5 A.

Proudový odběr konstruovaného zařízení s jistotou nepřekročí 200 mA. Z toho důvodu také nejsou k mikrokontroléru připojeny výstupní signály spínače FLAG1 a FLAG2, které signalizují proudové přetížení nebo přehřátí příslušného kanálu.

10.2 Rozdělení napájení

K jednomu výstupu obvodu NCP382 jsou připojeny mikrofon a teploměry, které při sběru dat pracují souběžně, jinak jsou nevyužité, tudíž mohou být odpojeny od napájení. Druhý výstup NCP382 připojuje napájení transceiveru RS-485. Probíhá-li přenos dat, může proudový odběr transceiveru dosáhnout až na 15,5 mA. Trvale napájeny jsou mikrokontrolér a paměť SRAM. I když jsou paměť a MCU proudově nejnáročnější, je vyžadován jejich kontinuální chod. Mikrokontrolér ovládá napájení měřicích komponent a odpojením napájení paměti by došlo ke ztrátě uložených dat.

10.3 Příkon zařízení

Základním předpokladem konstruovaného zařízení je provoz v oblastech bez dosahu elektrické sítě. Zdrojem energie tak je hlavně akumulátor. Celkovému trvalému od-

běru proudu musí být uzpůsobena kapacita akumulátoru. Aby mohlo být zařízení v provozu nepřetržitě, bylo by vhodné napájecí soustavu doplnit o solární článek a obvody pro nabíjení akumulátorů.

Po dobu testování a ladění firmwaru byly k napájení připojeny oba teploměry, provozovány dvě linky UART integrované v MCU a transceiver SN75HVD12R. Proudový odběr z napájecího zdroje dosáhl maximálně 6,3 mA při napětí zdroje 3,3 V.

11 ZÁVĚR

Zařízení na měření aktivity včelstva bylo vyvíjeno od teoretických poznatků, které vedly k výběru metody měření, až po snahu o realizaci prototypu. V zásadě se tato práce pokusila realizovat zařízení, které bylo inspirací, i když ve výrazně redukované formě a za použití mnohem jednodušších technologií, než které byly použity ve vědeckých aparátech [2,3,5].

Obvodová realizace se od počátků potýká se spoustou chyb a nedostatků. Nevhodně nastavený ofset výstupu operačního zesilovače, způsobil nepoužitelnost celého modulu mikrofону.

Základní deska obsahuje celou řadu nedostatků, mezi které patří špatné rozměry pouzdra paměti SRAM, chybějící spoj v motivu plošného spoje signálu NRST mezi MCU a konektorem pro sériový debugger. Dále se autor práce dopustil kritické chyby při generování dat pro výrobu plošného spoje, kde ze strany spojů chybí pájecí plošky SMT součástek. Tyto plošky jsou dodatečně vytvořeny odfrézováním nepájivé masky.

Ačkoliv prototyp obsahuje celou řadu konstrukčních vad, stále bylo možné realizovat obslužný firmware, který by ovládal alespoň dvojici číslicových teploměrů. Bohužel po prvním úspěšném otestování sériové komunikace mezi MCU a počítačem se začal mikrokontrolér chovat velmi nestandardně. Probíhající přenos testovacího znaku se přerušil a po restartu MCU ani opětovném nahrání kódu se už nerozběhl. Následně přestalo být možné ovládat vstupně výstupní porty. Na pinu DE/RE byla nastavena trvale logická 1, která se na něm však objevuje náhodně.

Ani další pokusy o vyřešení problému jako použití jiného debuggeru a převodníků RS485/USB či USART/USB nevedly k odhalení problému. Náhodné chování mikrokontroléru poukazuje na možné poškození některých jeho součástí. Spolehlivě funguje pouze nahrávání kódu, které vždy skončí úspěšně.

LITERATURA

- [1] *E. F. Woods and H. Wood, "Means for Detecting and Indicating the Activities of Bees and Conditions of Beehive, U.S. Patent No. 2,806,082, September 10, 1957.*
- [2] *AUMANN, Herbert M. a Nuri W. EMANETOGLU. The radar microphone: A new way of monitoring honey bee sounds. In: 2016 IEEE SENSORS [online]. IEEE, 2016, s. 1-2 [cit. 2017-11-03]. DOI: 10.1109/ICSENS.2016.7808865. ISBN 978-1-4799-8287-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7808865/>*
- [3] *EDWARDS MURPHY, Fiona, Michele MAGNO, Padraig WHELAN a Emanuel Popo VICI. B+WSN: Smart beehive for agriculture, environmental, and honey bee health monitoring — Preliminary results and analysis. In: 2015 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS) [online]. IEEE, 2015, s. 1-6 [cit. 2017-11-03]. DOI: 10.1109/SAS.2015.7133587. ISBN 978-1-4799-6117-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7133587/>*
- [4] *M. A. Becher, "The influence of developmental temperatures on division of labour in honeybee colonies" Martin-Luther-Universität HalleWittenberg, Diss., 2010.*
- [5] *MURPHY, Fiona Edwards, Bruno SRBINOVSKI, Michele MAGNO, Emanuel M. POPOVICI a Padraig M. WHELAN. An automatic, wireless audio recording node for analysis of beehives. In: 2015 26th Irish Signals and Systems Conference (ISSC) [online]. IEEE, 2015, s. 1-6 [cit. 2017-11-05]. DOI: 10.1109/ISSC.2015.7163753. ISBN 978-1-4673-6974-9. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7163753/>*
- [6] *TAUTZ, Jürgen. Fenomenální včely: biologie včelstva jako superorganizmu. Vydaní v češtině třetí. Přeložil Olga MATYÁSKOVÁ. Praha: Brázda, 2016. ISBN 978-80-209-0415-7.*
- [7] *GUSTIN, Yves. Ilustrované včelařství: nepostradatelná rodinná příručka pro odvážné včelaře. V Praze: Baobab, 2010. Kraj (Baobab: GplusG. ISBN 978-80-87060-27-8.*
- [8] *MCP9700/9700A: Low-Power Linear Active Thermistor ICs [online]. MICROCHIP [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001942G.pdf>*

- [9] *KREIDL, Marcel. Měření teploty: senzory a měřící obvody. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-145-4.*
- [10] *DS18B20: Programmable Resolution 1-Wire® Digital Thermometer [online]. [cit. 2017-11-22]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>*
- [11] *TGS4161. MCPPros [online]. 2017 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: <http://pub.ucpros.com/download/tgs4161.pdf>*
- [12] *Nondispersive infrared sensor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Nondispersive_infrared_sensor*
- [13] *Telaire 6613. Farnell element14 [online]. [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1872049.pdf>*
- [14] *HTS221. Farnell element14 [online]. [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2046114.pdf>*
- [15] *HH5030/5031. Farnell element14 [online]. 2017 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1676925.pdf>*
- [16] *ČOŽÍK, Ondřej. POUŽITÍ BLOKOVACÍCH KONDENZÁTORŮ PŘI NÁVRHU DPS. Slaboproudý obzor [online]. 2013 [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://www.slaboproudyobzor.cz/files/20130308.pdf>*
- [17] *Figure 4. Typical Output Voltage (BFSL) vs Relative Humidity (At 0 C, 70 C and 3.3 Vdc). In: Farnell element14 [online]. [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1676925.pdf>*
- [18] *Figure 3. Typical Output Voltage vs Relative Humidity (At 25 °C and 3.3 Vdc.). In: Farnell element14 [online]. [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1676925.pdf>*
- [19] *Sensitivity characteristics [online]. [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: https://eif-wiki.feit.uts.edu.au/_media/technical:sensors:internal:tgs4161.pdf*
- [20] *DS18B20 BLOCK DIAGRAM [online]. [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>*
- [21] *Digital signal processing for STM32 microcontrollers using CMSIS. In: STMicroelectronics [online]. 2018 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/group0/c1/e*

- [22] NOVOTNÝ, Vlastislav. *Nízkofrekvenční elektronika: přednášky*. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2002. ISBN 80-214-2234-3.
- [23] NCP382: *Fixed Current-Limiting Power-Distribution Switch*. In: *Farnell element14 [online]*. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2355046.pdf>
- [24] CY62128EV30: *1-Mbit Static RAM*. In: *Farnell element14 [online]*. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2309571.pdf>
- [25] SN75HVD12: *RS-485 Transceiver*. In: *Farnell element14 [online]*. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn75hvd12.pdf>
- [26] STM32F030x6: *ARM-based 32-bit MCU*. In: *Farnell element14 [online]*. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2554494.pdf>
- [27] STM32F4 *Discovery*. In: *HAL library 05- OneWire for STM32Fxxx [online]*. 2018 [cit. 2018-08-01]. Dostupné z: <https://www.stm32f4-discovery.net>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

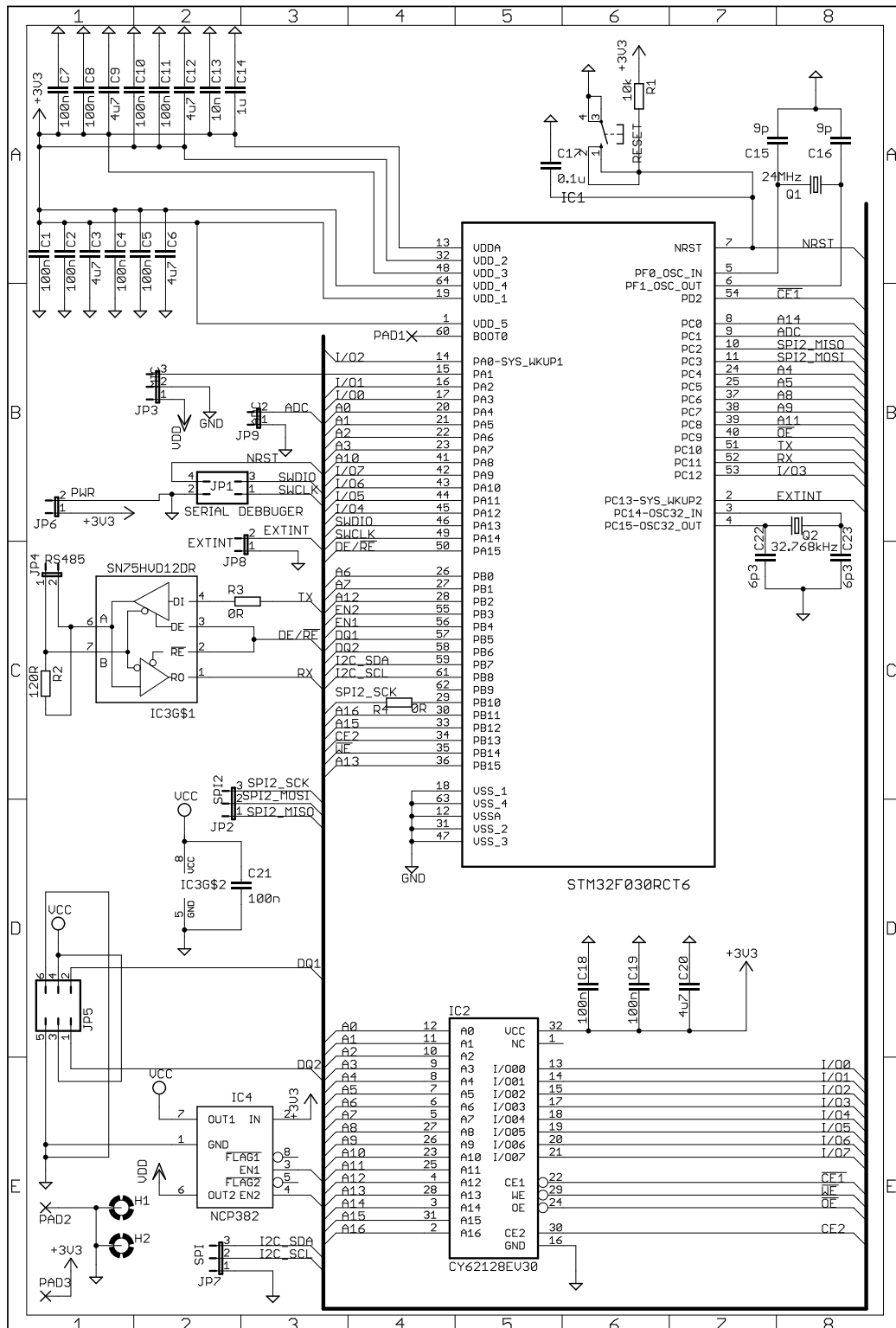
A	rozměrová konstanta pouzdra termistoru
ADC	Analog to Digital Converter, analogově digitální převodník
A_U	napěťové zesílení
B	materiálová konstanta termistoru
CO ₂	oxid uhličitý, chemický vzorec
DPS	deska s plošnými spoji
DQ	datový vodič v systému jednovodičové sběrnice
DS18B20	aktivní snímač teploty, typové označení
EMF	Electromotive Force, elektromotorické napětí
FFT	Fast Fourier Transform, rychlá Fourierova transformace
FS	File Size, velikost souboru
GSM	Global System for Mobile Communication, globální systém mobilních komunikací
HLGA-6L	top Holed-cap Land Grid Array, pouzdro pro povrchovou montáž s oblými vystouplými kontaktními ploškami
HTS221	čidlo relativní vlhkosti
INMP411	MEMS mikrofon, typové označení
I/O	Input/Output, vstupní/výstupní
LGA6	pouzdro pro povrchovou montáž, typové označení
LSB	Least Significant Bit, nejméně významný bit
MCP9700	aktivní snímač teploty, typové označení
MCU	Micro Controller Unit, mikrokontrolér
MEMS	Micro Electro Mechanical System, mikroskopický elektromechanický systém
MSB	Most Significant Bit, nejvíce významný bit
N	počet vzorků signálu
NCP382	výkonový spínač, typové označení
NTC	Negative Temperature Coefficient, negativní teplotní součinitel
OZ	operační zesilovač
PTC	Positive Temperature Coefficient, pozitivní teplotní součinitel
Pt100	platínový odporový snímač teploty, typové označení
Pt1000	platínový odporový snímač teploty, typové označení
R	elektrický odpor
R_0	elektrický odpor vztažený k referenční teplotě 0 °C
R_{100}	elektrický odpor vztažený k teplotě 100 °C
R_T	elektrický odpor termistoru
RAM	Random Access Memory, paměť s náhodným přístupem

RH	Relative Humidity, relativní vlhkost
RS-485	sériová diferenční sběrnice
RTC	Real Time Clock
SMT	Surface Mount Technology, technologie pro povrchovou montáž
SN75HVD12R	transceiver UART - RS485
SOIC	pouzdro pro povrchovou montáž
SPI	Serial Peripheral Interface, sériová periferní komunikace
SPL	Sound Pressure Level, úroveň akustického tlaku
SRAM	Static Random Access Memory, statická paměť s náhodným přístupem
T	termodynamická teplota
TGS4161	dielektrické čidlo CO ₂ , typové označení
TO-92	typové označení pouzdra součástky
TWI	Two Wire Interface, dvou vodičová sběrnice
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter, univerzální asynchronní obousměrná sériová komunikace
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter, univerzální synchronní/asynchronní obousměrná sériová komunikace
USB	Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice
V _{DD}	kladné napájecí napětí
V _{ref}	referenční napětí
V _{OUT}	výstupní napětí
W ₁₀₀	poměr odporů kovového snímače teploty
f _m	mezní kmitočet
f _{vz}	vzorkovací frekvence
n	počet bitů
p	akustický tlak
p ₀	referenční hodnota akustického tlaku 20 μPa
ppm	parts per milion, poměr miliontin k celku
t _{trv}	doba trvání - délka souboru
α	teplotní součinitel odporu
ΔT	přírůstek resp. úbytek teploty
θ	teplota

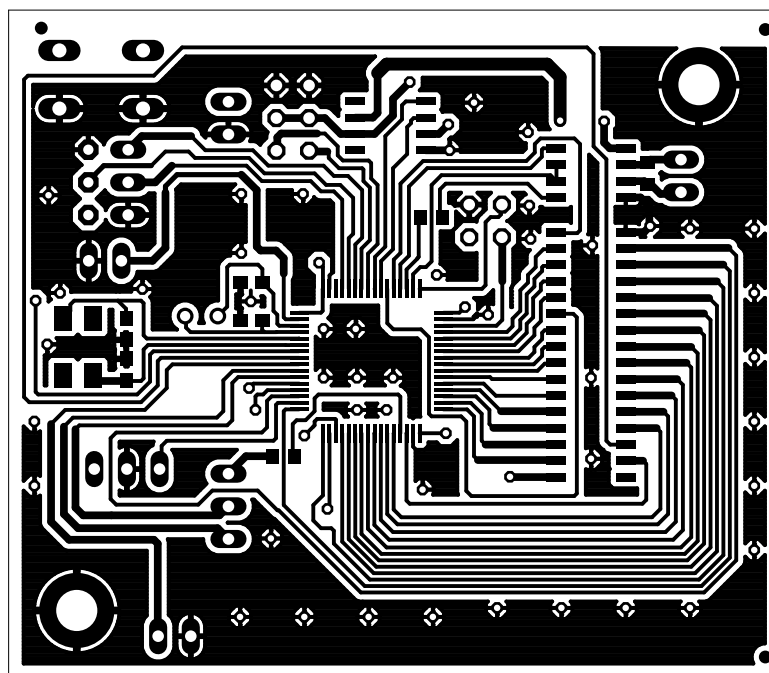
SEZNAM PŘÍLOH

A	Základní deska	43
B	Konstrukce mikrofonu	46
C	Ukázky zdrojových kódů	49
D	Obsah přiloženého CD	51

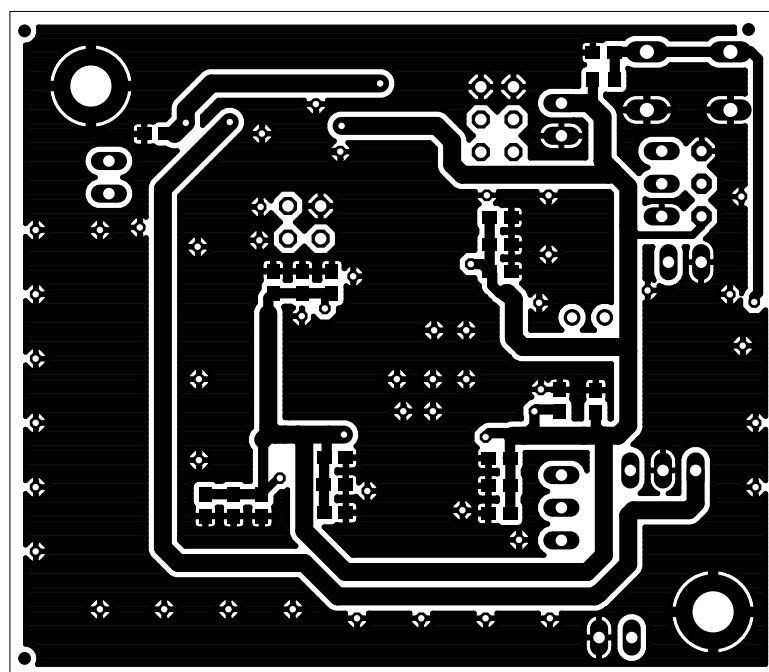
A ZÁKLADNÍ DESKA



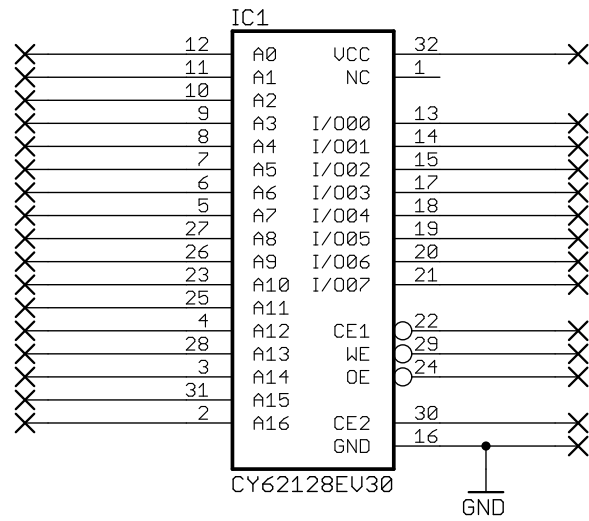
Obr. A.1: Schéma zapojení desky mikrokontroléru



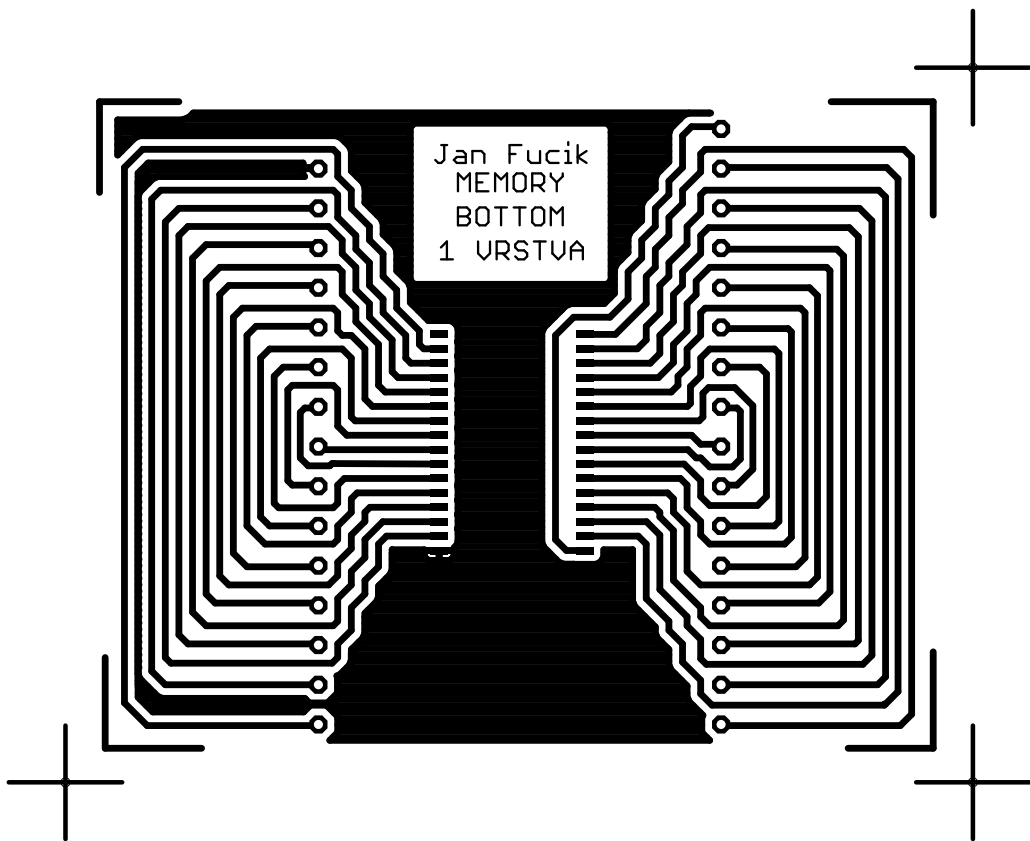
Obr. A.2: Deska mikrokontroléru, strana součástek v měřítku 1,7:1



Obr. A.3: Deska mikrokontroléru, strana spojů v měřítku 1,7:1

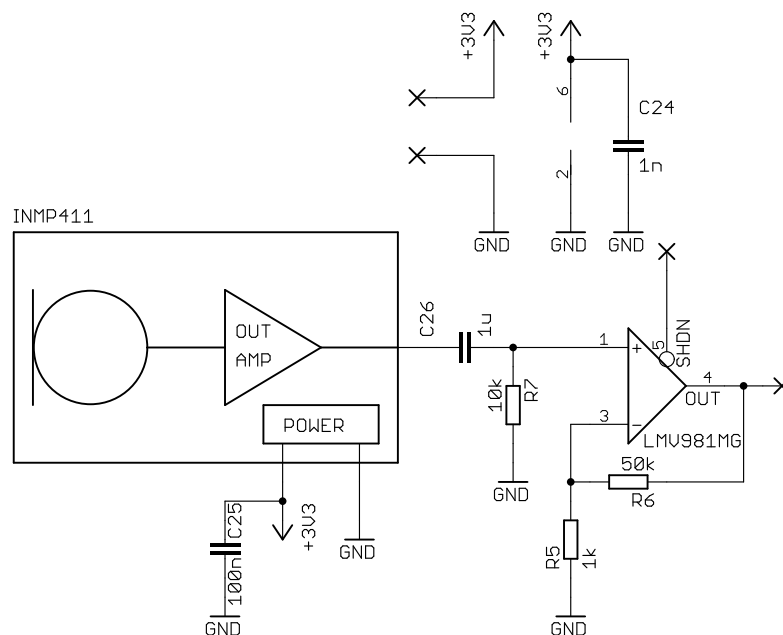


Obr. A.4: Schéma zapojení náhradní DPS s pamětí

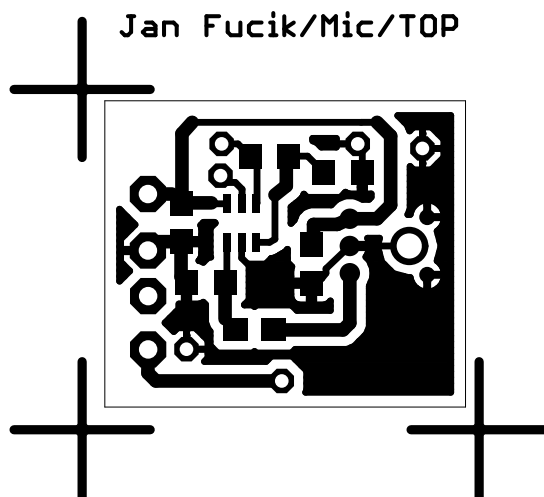


Obr. A.5: Náhradní deska paměti, strana spojů v měřítku 1,5:1

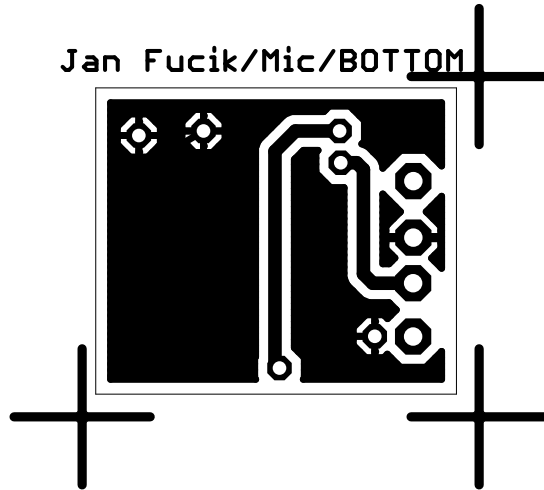
B KONSTRUKCE MIKROFONU



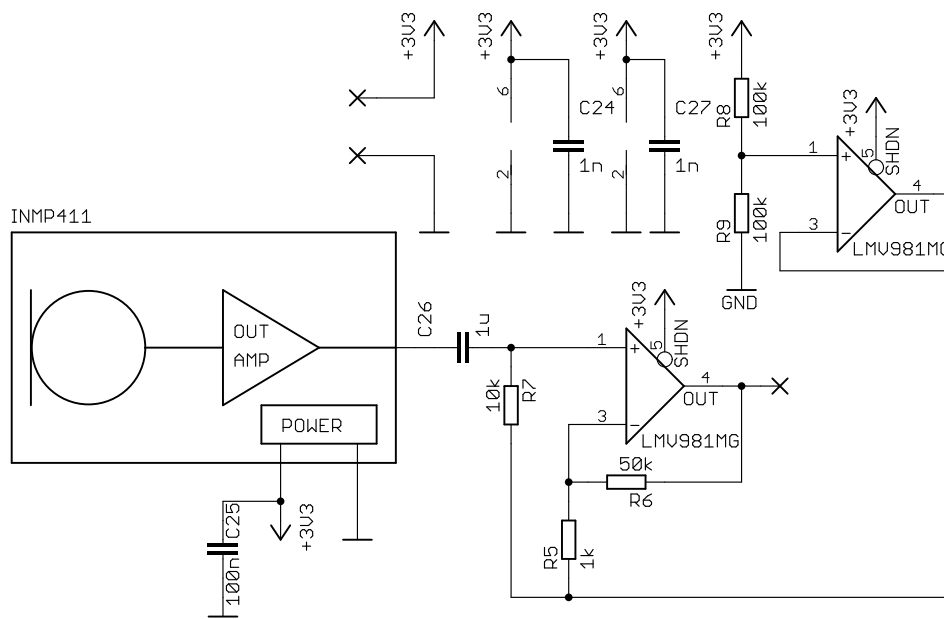
Obr. B.1: Schéma zapojení modulu mikrofonu



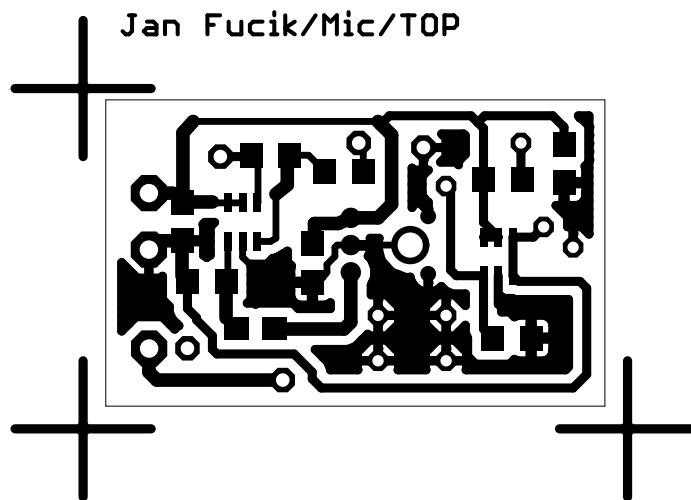
Obr. B.2: Modul mikrofonu, strana součástek v měřítku 3:1



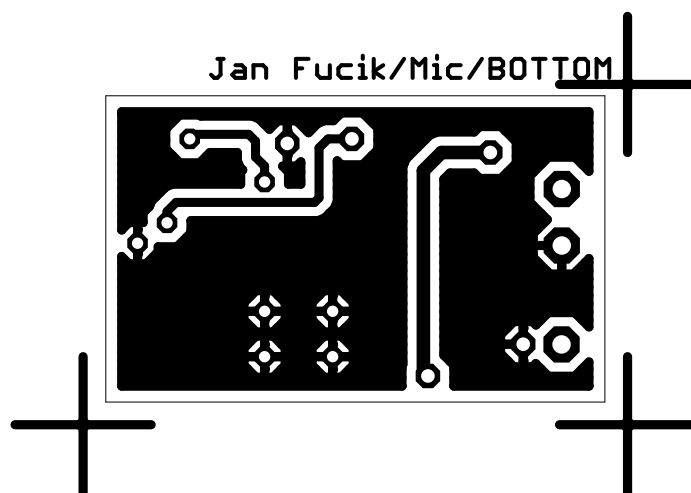
Obr. B.3: Modul mikrofonu, strana spojů v měřítku 3:1



Obr. B.4: Schéma zapojení vylepšeného modulu mikrofonu



Obr. B.5: Vylepšený modul mikrofonu, strana součástek v měřítku 3:1



Obr. B.6: Vylepšený modul mikrofonu, strana spojů v měřítku 3:1

C UKÁZKY ZDROJOVÝCH KÓDŮ

Výpis C.1: Nastavení parametrů komunikace UART

```
1  /* USART3 init function */
2  static void MX_USART3_UART_Init(void)
3  {
4
5     huart3.Instance = USART3;
6     huart3.Init.BaudRate = 19200;
7     huart3.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
8     huart3.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
9     huart3.Init.Parity = UART_PARITY_EVEN;
10    huart3.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
11    huart3.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
12    huart3.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
13    huart3.Init.OneBitSampling = UART_ONE_BIT_SAMPLE_DISABLE;
14    huart3.AdvancedInit.AdvFeatureInit =
15        UART_ADVFEATURE_MSBFIRST_INIT;
16    huart3.AdvancedInit.MSBFirst =
17        UART_ADVFEATURE_MSBFIRST_ENABLE;
18    if (HAL_UART_Init(&huart3) != HAL_OK)
19    {
20        _Error_Handler(__FILE__, __LINE__);
21    }
22
23 }
```

Výpis C.2: Testování funkce UART a GPIO

```
1 while (1)
2 {
3     if(HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, DE_RE_Pin) != GPIO_PIN_SET){
4         HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, DE_RE_Pin, GPIO_PIN_SET);
5     }
6     else{
7
8     }
9
10    Delaysms(10);
11
12    HAL_UART_Transmit(&huart3, &buffer, 0x01, 0xffff);
13    Delaysms(500);
```

Výpis C.3: Volání inicializačních funkcí

```
1 MX_GPIO_Init();
2 MX_RTC_Init();
3 MX_SPI2_Init();
4 MX_USART3_UART_Init();
5 MX_TIM6_Init();
6 MX_TIM7_Init();
7 MX_USART6_UART_Init();
```

D OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

F030RCT	kořenový adresář přiloženého CD
├── .settings	nastavení uživatelského prostředí Eclipse
├── Debug	soubory generované kompilátorem
├── Driversh a .c soubory systémových funkcí
├── Inc	další .h soubory - včetně dodaných uživatelem
├── Src	další .c soubory - včetně dodaných uživatelem
└── startup	automaticky generované .s soubory