

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2018

Bc. Petr Skryja



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

AUTOMATICKÉ TESTOVÁNÍ DETEKTORU ÚNIKU PLYNU

AUTOMATIC TESTING OF GAS LEAK DETECTOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Skryja

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marek Novák

BRNO 2018



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**
Ústav radioelektroniky

Student: Bc. Petr Skryja

ID: 164399

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Automatické testování detektoru úniku plynu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s dostupným průmyslovým detektorem úniku plynu, analyzujte možnosti automatického testování (mA smyčky, topného obvodu, komunikačních relátek, alarmů, indikační LED, ukládání dat, bluetooth, RTC modulu a senzorů teploty) ve fázi vývoje. Prozkoumejte možnosti vhodného testovacího přípravku a požadovaných změn pro podporu testování. Navrhněte metodu testování, proveďte výběr případného testovacího přípravku a navrhněte architekturu podpůrného softwaru. Realizujte propojení testovacího přípravku, detektoru a počítače na řízení testu.

Oživte propojení testovacího přípravku, detektoru a počítače na řízení testu. Implementujte navržený podpůrný software a případné požadované změny v detektoru. Navrhněte a realizujte v prostorách firmy Honeywell, spol s r.o. - HTS CZ o.z sadu integračních testů k ověření funkčnosti detektoru po implementaci nových funkcí a dalších změn ve firmwaru detektoru plynu. Zhodnoťte dosažené výsledky a prodiskutujte možnost rozšíření na případné další testy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GasBook [online]. 2013, 1-116 [cit. 2017-07-15]. Dostupné z: http://www.honeywellanalytics.com/~media/honeywell-analytics/documents/english/11296_gas-book_v5_0413_lr_en.pdf?la=en-gb

[2] PASKAL, Greg. Test Automation in the Real World: Practical Lessons for Automated Testing. Independently published, 2017. ISBN 1520745923.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 17.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Marek Novák

Konzultant: Marek Fikera

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

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 zabývá automatickým testováním ultrazvukového detektoru úniku plynu, který je nutné testovat při běžných změnách ve fázi vývoje. Čtenář bude seznámen se základními principy detekce plynu, návrhem testovacího přípravku, softwarovou architekturou a její realizací. Dále je představena ovládací GUI aplikace a návod pro psaní testů. V této práci je využito vývojové desky Beaglebone Black s operačním systémem Debian sloužící jako jádro celého testovacího přípravku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Detektor plynu, Ultrazvukový detektor úniku plynu, UGLD, BeagleBone Black, Testování, Softwarová architektura, Debian, GUI aplikace, D/A

ABSTRACT

This work deals with the automatic testing of an ultrasonic gas leak detector, which has to be tested during normal changes in the development phase. The reader will be acquainted with the basic principles of gas detection, design of the test product, software architecture its implementation. The following is a presentation of the application and instructions for writing tests. In this work, the Beaglebone Black development board with the Debian operating system is used as the core of the entire test product.

KEYWORDS

Gas detector, Ultrasonic gas leak detector, UGLD, BeagleBone Black, Testing, Software architecture, Debian, GUI application, DAC

SKRYJA, Petr. *Automatické testování detektoru úniku plynu*. Brno, 2018, 71 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce: Ing. Marek Novák

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Automatické testování detektoru úniku plynu“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 diplomové práce panu Ing. Marku Novákovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych rád poděkoval Mgr. Marku Fikerovi, Ing. Martinu Jarošovi a všem kolegům z firmy Honeywell za konzultace, trpělivost a poskytování potřebných informací.

Brno

.....

podpis autora(-ky)



Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Purkynova 118, CZ-61200 Brno
Czech Republic
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsany v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....
podpis autora(-ky)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

Úvod	13
1 Detekce plynu	14
1.1 Nebezpečí hořlavých plynů	14
1.2 Nebezpečí toxických plynů	14
1.3 Nebezpečí dusivých plynů	15
1.4 Principy detekce	15
1.4.1 Katalytický snímač	15
1.4.2 Infračervený detektor plynu	16
1.4.3 Elektrochemický senzor	16
1.4.4 Detektory s papírovou páskou	17
1.4.5 Ultrazvukový detektor plynu	17
2 Ultrazvukový detektor úniku plynu	18
2.1 Ultrazvukový detektor úniku plynu firmy Honeywell	19
2.1.1 Proudová smyčka 4 – 20 mA (mA loop)	20
2.1.2 RS-485	21
2.1.3 Topný obvod	22
2.1.4 Senzory teploty	22
2.1.5 Komunikační relé	22
2.1.6 Hodiny reálného času - RTC (Real-Time Clock)	23
2.1.7 Ukládání dat	24
2.1.8 Indikační LED	24
2.1.9 Bluetooth	24
2.1.10 Alarmy	24
2.1.11 Přepočítání napětí z piezoelektrického senzoru na hladinu akustického tlaku	25
3 Navržené metody testování	26
4 Testovací přípravek	29
4.1 Výběr vývojové desky	29
4.1.1 D/A převodník	31
5 Softwarová architektura	33
5.1 Vnější softwarová architektura	33
5.2 Vnitřní softwarová architektura	33

6 Programování	36
6.1 Debian	36
6.2 Vývojová prostředí	39
6.3 D/A převodník	44
6.4 FP2 protokol (Fixed Platform Communication protocol)	48
6.4.1 Fyzická vrstva	48
6.4.2 Linková vrstva	48
6.4.3 Aplikační vrstva	49
6.4.4 Adresy a směry komunikace	50
6.5 GUI aplikace pro řízení testů	51
6.6 Přidání nového testu a zásady jeho psaní	56
6.7 Popis naprogramovaných testů	57
7 Závěr	59
Literatura	61
Seznam symbolů, veličin a zkratk	63
Seznam příloh	64
A Rozšiřující deska pro BeagleBone Black	65
A.1 Schéma zapojení	65
A.2 Deska plošných spojů	68
A.3 Seznam součástek	70
A.4 Vyrobené desky	71

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Limity hořlavosti	14
1.2	Struktura pelistoru a můstkové zapojení s pelistorovými sensory[2] . .	16
1.3	Provedení detektoru plynu s papírovou páskou[1]	17
2.1	Graf spektrum akustického tlaku zvuku šumového pozadí a úniků plynu	18
2.2	Blokový diagram ultrazvukového detektoru firmy Honeywell	19
2.3	Proudová smyčka - zapojení „sink“	20
2.4	Proudová smyčka - zapojení „source“	21
2.5	Princip RS-485	22
2.6	Typy kontaktů relé	23
2.7	Relé režimy „latching“ a „non-latching“	23
3.1	Princip testování proudové smyčky	26
3.2	Princip testování topného obvodu	27
4.1	Blokové schéma zapojení měřícího přípravku	31
4.2	STM32F051K6T6 schéma zapojení	32
4.3	Schéma zapojení filtru pro D/A převodník	32
4.4	Přenosová charakteristika filtru	32
5.1	Schéma softwarové architektury	33
5.2	Vnitřní softwarová architektura vývojového kitu	35
6.1	Codeblocks - nastavení kompilátoru	39
6.2	EmBitz - nastavení kompilátoru 1	40
6.3	EmBitz - nastavení kompilátoru 2	40
6.4	STM32CubeMX - Pinout	42
6.5	STM32CubeMX - Clock Configuration	43
6.6	Nosný kmitočet 44 kHz (žlutá - výstup DAC, zelená - výstup filtru) .	45
6.7	Test signál 2 - časový průběh (žlutá - výstup DAC, zelená - výstup filtru)	46
6.8	Test signál 2 - spektrum	46
6.9	Spektrum bez generování jakéhokoliv signálu	47
6.10	Spektrum generovaného šumu	47
6.11	Vrstvy komunikačního protokolu FP2	48
6.12	Složení paketu komunikačního protokolu FP2	49
6.13	Uspořádání dat aplikační vrstvy protokolu FP2	49
6.14	Přidělené adresy a směry komunikace zařízení	50
6.15	GUI aplikace - připojení k vývojovému kitu	52
6.16	GUI aplikace - ovládací panel	53
6.17	GUI aplikace - zobrazení informací během/po testování	54
6.18	Ukázka komunikace pro získávání test listu	55

6.19 Ukázka komunikace během testu (vlevo bez vynuceného ukončení, vpravo s vynuceným ukončením testu)	55
A.1 Obvod mikrokontroléru STM32F051K6T6	65
A.2 Filtr D/A převodníku mikrokontroléru STM32F051K6T6	65
A.3 Obvod pro testování proudové smyčky	66
A.4 Obvod pro ovládání napájení detektoru	66
A.5 Obvod pro snímání barvy LED	67
A.6 Konektory rozšiřující desky a propojení GND	67
A.7 Plošný spoj Bottom (měřítko 1:1)	68
A.8 Plošný spoj Top (měřítko 1:1)	68
A.9 Osazovací plán Bottom	69
A.10 Osazovací plán Top	69
A.11 Prototypová deska verze 1_0	71
A.12 Prototypová deska verze 1_2	71

SEZNAM TABULEK

2.1	Frekvenční rozsahy jednotlivých binů	19
2.2	Režimy detektoru a barvy indikační LED	24
4.1	Porovnání vývojových kitů 1	29
4.2	Porovnání vývojových kitů 2	30
6.1	Parametry komunikace kitu s počítačem	36
6.2	Nastavení periferií pro komunikační protokol FP2	48
6.3	Možné chybové zprávy protokolu FP2	49
6.4	Přidělené adresy zařízením	50
A.1	seznam součástí	70

SEZNAM VÝPISŮ

6.1	Připojení k vývojovému kitu - úvodní výpis	36
6.2	Device tree (DTS)	37
6.3	Zavedení ovladačů do systému	37
6.4	Zobrazení složky slots pomocí příkazu cat	37
6.5	Konfigurace sériových portů pomocí příkazu stty	38
6.6	Příklad nastavení GPIO pinu	38
6.7	Zavedení ovladačů do systému	51

ÚVOD

V mnoha odvětvích průmyslu se dnes používají a vyrábí vysoce nebezpečné látky, zejména hořlavé a toxické. Dochází k příležitostným únikům plynu, které vytvářejí finanční ztráty, potenciální nebezpečí pro průmyslové podniky, jejich zaměstnance a lidi žijící v okolí. Ke snížení těchto rizik je klíčové použít zařízení, jako jsou detektory plynu. Ty mohou pomoci poskytnout více času, ve kterém je třeba podniknout nápravná nebo ochranná opatření. Mohou být také použity jako součást celkového integrovaného monitorovacího a bezpečnostního systému, který může zahrnovat různé další bezpečnostní aspekty, včetně detekce požáru a vypnutí nouzového procesu.

Při vývoji detektoru plynu je nutné tento detektor testovat, zda pracuje za každých podmínek, které se mohou v provozu objevit, tak jak má. Protože tyto podmínky bývají většinou jasně stanoveny (známy), je tak možné vytvořit přípravek s vhodným softwarem, který bude schopný opakovaně provádět testy pro běžné změny firmwaru a hardwaru, jenž ve fázi vývoje nastávají. Princip vývoje je založený na agilním přístupu, což znamená, že prvotní (základní) funkce detektoru se postupem času rozšiřují až do konečného (finálního) produktu. Z tohoto plyne nárok na podpůrný software, který by měl umožňovat přidávat nové testy s tím, jak se zmiňovaný detektor při vývoji zdokonaluje.

Tato práce se zabývá návrhem metod, výběrem vhodného přípravku a softwarovou architekturou pro testování ultrazvukového detektoru úniku plynu ve fázi vývoje. První kapitola uvádí čtenáře do problematiky detekce plynu, následuje představení detektoru, pro který je tento testovací přípravek navrhován. Třetí kapitola popisuje periferie detektoru, jež je potřeba testovat. Dále jsou představeny komerčně prodávané vývojové desky vhodné pro základ testovacího přípravku. Následuje popis navrženého testovacího přípravku, metod testování a softwarové architektury. Nakonec je popsáno programování podpůrného softwaru celého testovacího přípravku, představena aplikace pro řízení testů a návod pro přidávání a psaní testů.

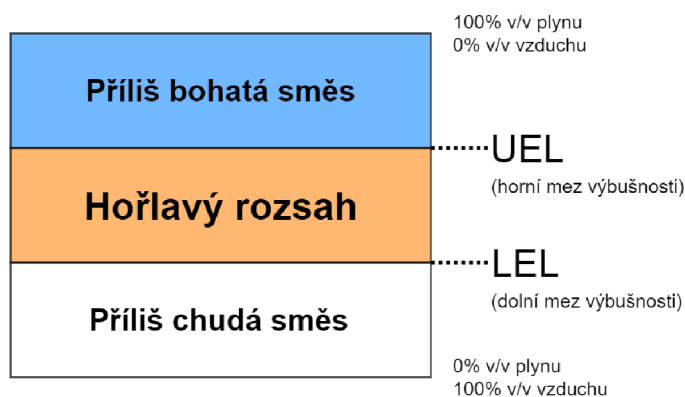
1 DETEKCE PLYNU

Rozlišují se tři hlavní typy nebezpečí plynů:

- Hořlavý (nebezpečí požáru nebo výbuchu)
- Toxický (riziko otravy)
- Dusivý (nebezpečí udušení)

1.1 Nebezpečí hořlavých plynů

Spalování je chemická reakce, při které je kyslík rychle spojen s jinou látkou, což vede k uvolnění energie. Tato energie se objevuje hlavně jako teplo - někdy ve formě plamenů. Jak je vidět na obrázku 1.1, existuje pouze omezené pásmo koncentrace plynu / vzduchu, které vytvoří hořlavou směs. Tento pás je specifický pro každý plyn a páru a je ohraničen horní úrovní, nazývanou horní mez výbušnosti (nebo UEL) a nižší úrovní, nazývanou dolní mez výbušnosti (LEL). Pod úrovní LEL má směs plynu velké množství kyslíku tzn. směs je příliš „chudá“ aby mohl vzniknout výbuch a nad úrovní UEL má směs naopak nedostatek kyslíku tj. směs je příliš „bohatá“ a k výbuchu také nemůže dojít.[1] Zvýšení tlaku, teploty nebo obsahu kyslíku obecně rozšíří rozsah hořlavosti.



Obr. 1.1: Limity hořlavosti

1.2 Nebezpečí toxických plynů

Některé plyny jsou jedovaté a mohou být nebezpečné pro život ve velmi nízkých koncentracích. Kromě problému v oblasti s životním prostředím je zásadní také vliv vystavení pracovníků na velmi nízké koncentrace, které by mohly být inhalovány,

požity nebo absorbovány skrze kůži. Vzhledem k tomu, že nežádoucí účinky mohou často vyplývat z dlouhodobé expozice, je důležité nejen měřit koncentraci plynu, ale i celkovou dobu expozice.

1.3 Nebezpečí dusivých plynů

Normální okolní vzduch obsahuje koncentraci kyslíku 20,9 % v / v. Když hladina kyslíku klesne pod 19,5 % v / v, vzduch se považuje za nedostatečně okysličený. Koncentrace kyslíku pod 16 % v / v jsou pro člověka považovány za nebezpečné. Nedostatek kyslíku ve vzduchu může být způsobena odsátím kyslíku, spalováním, oxidací, chemickou reakcí nebo bakteriálními účinky [1].

Detekce plynu je zejména vyžadovaná v odvětvích a místech, jako jsou těžba ropy a plynu, rafinerie a petrochemické závody, chemické závody, vojenská a národní bezpečnost, výroba papíru, hornictví, tisk, výroba polovodičových materiálů a mnoho dalších.

1.4 Principy detekce

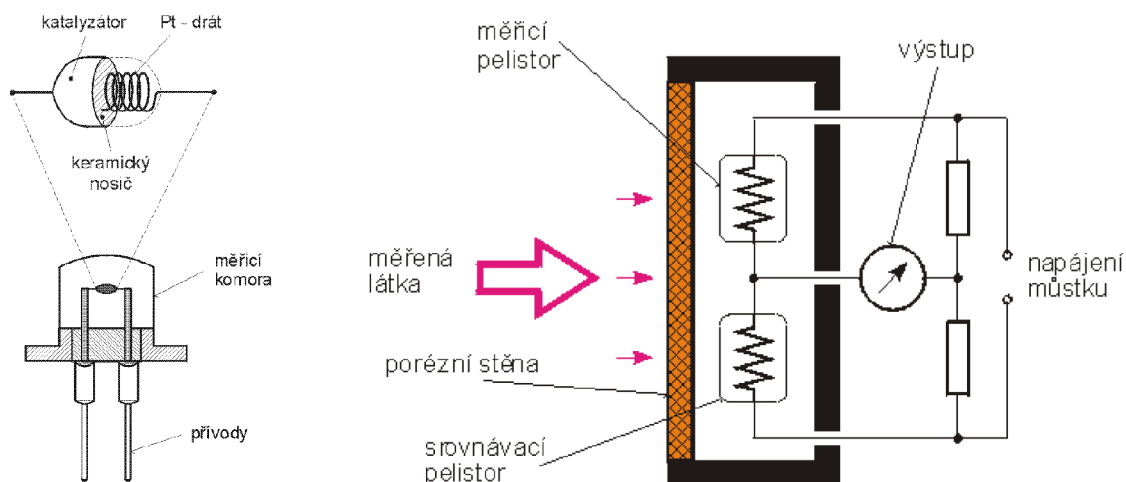
Senzory hořlavých plynů

Jako jeden z prvních detektorů hořlavých plynů byla používána dūlní lampa, která měla především sloužit jako zdroj světla, ale podle plamene v lampě bylo možno detekovat plyn ve vzduchu s přesností 25 – 50 % (zde ovšem záleželo na zkušenostech uživatele, jeho věku, vnímání barev atd.). [1]

1.4.1 Katalytický snímač

Tento typ snímače se skládá z malého snímacího prvku nazývaného „korálek“ nebo také „pelistor“. Tento prvek je vyrobený z elektricky vyhříváné platinové cívky, pokryté nejprve keramickou bází a poté palladiovým nebo rhodiovým katalyzátorem.

Princip je založený na průchodu směsi hořlavého plynu nad horkým katalyzátorovým povrchem, kde dochází ke spalování a vzniklým teplem se zvyšuje teplota pelistoru. Tím se mění odpor platinové cívky, která se využije jako teploměr zapojený do Wheatstoneova můstku (kde je zapojený další pelistor, jehož povrch nevykazuje katalytický účinek a slouží ke kompenzaci rušivých vlivů). Změna odporu pak přímo souvisí s koncentrací plynu v okolní atmosféře a může být zobrazena indikačním zařízením.[1] Na obrázku 1.2 je naznačena struktura pelistoru a můstkové zapojení s pelistorovými sensory.



Obr. 1.2: Struktura pelistoru a můstkové zapojení s pelistorovými sensory[2]

1.4.2 Infračervený detektor plynu

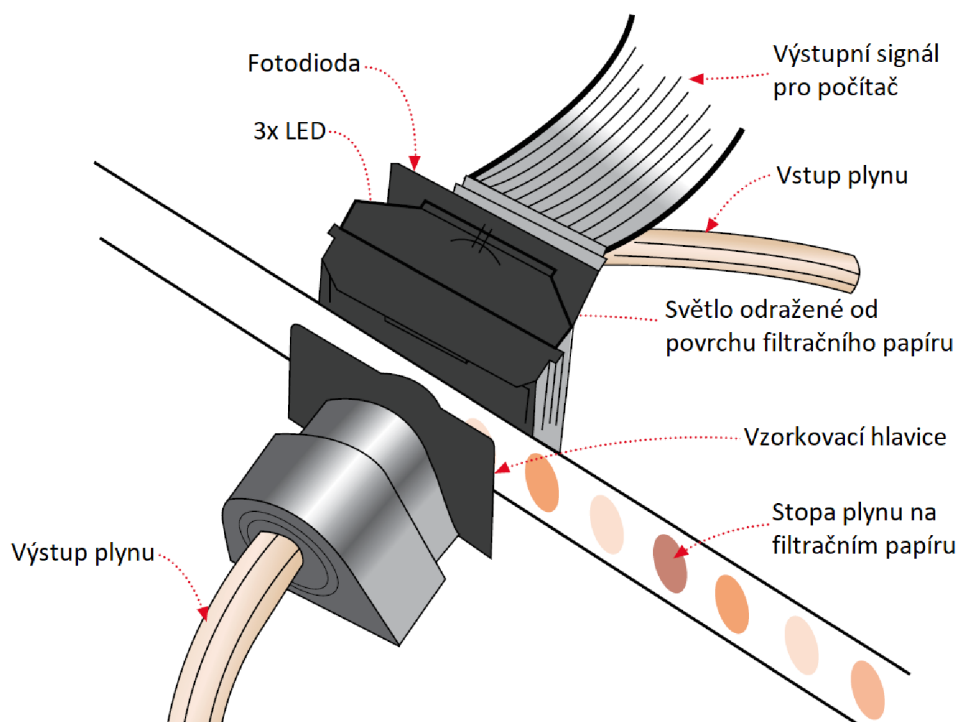
Tento typ detektoru pracuje na principu infračervené absorpce, kdy zdroj infračerveného záření osvětluje určitý objem plynu v měřicí komoře. Plyn absorbuje některé z vlnových délek procházejícího světla, zatímco jiné projdou bez utlumení. Změna intenzity absorpčního světla se měří vzhledem k intenzitě světla v neabsorbované vlnové délce. Pokud není v měřicí komoře přítomen plyn, tak referenční a měřicí signál mají stejnou velikost. Pokud je přítomen hořlavý plyn, dojde k poklesu výkonu měřicího signálu oproti referenčnímu. Výpočet a vyhodnocení tohoto poklesu provádí mikroprocesor.[3]

1.4.3 Elektrochemický senzor

Tyto senzory vyžadují velmi malé množství energie a vykazují vynikající linearitu a opakovatelnost měření. Typická je i dlouhá životnost jeden až tři roky. Senzor se skládá ze tří aktivních difuzních elektrod, které jsou ponořené do elektrolytu (často koncentrovaného vodného roztoku kyseliny nebo soli). Plyn je oxidován nebo redukován na povrchu pracovní elektrody vůči referenční elektrodě, čímž se mění potenciál mezi těmito elektrodami. Tato změna je následně kompenzována přiložením externího zdroje proudu, který teče mezi pracovní a pomocnou elektrodou. Rozdíl proudu pro kompenzaci je pak přímo úměrný jeho koncentraci.

1.4.4 Detektory s papírovou páskou

Detekce je založena na použití filtračního papíru sloužícího jako suchý substrát, skrze který se nechá proudit měřený vzduch (respektive plyn). Na papírovém pásku se v závislosti na koncentraci a druhu plynu vytvoří barevná stopa, která je poté snímána elektrooptickým systémem a převedena na digitální formát. Výhodou této metody je rychlost a citlivost měření. Navíc zanechává tento systém fyzické důkazy. [1] Provedení detektoru je zobrazeno na obrázku 1.3.



Obr. 1.3: Provedení detektoru plynu s papírovou páskou[1]

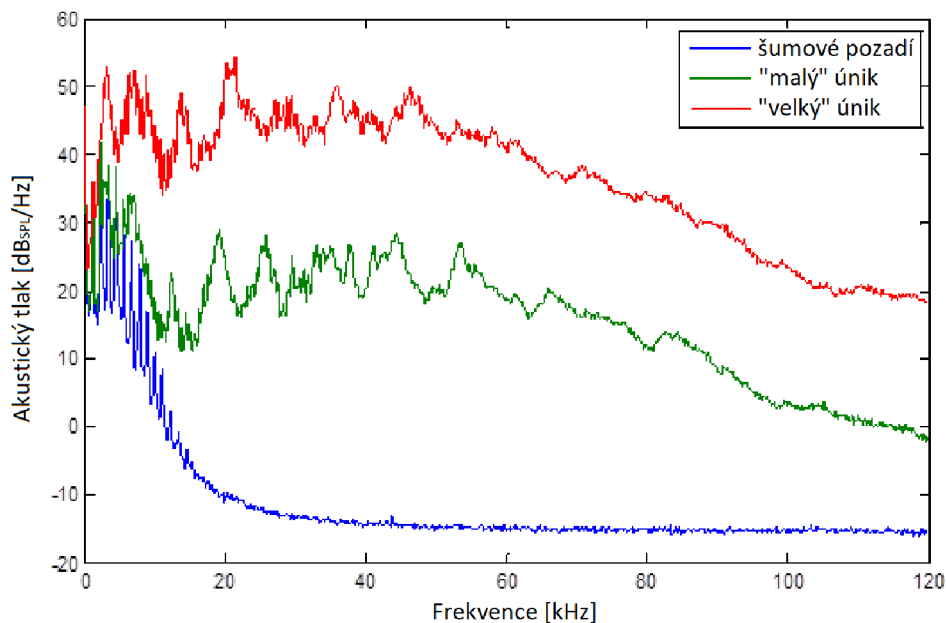
1.4.5 Ultrazvukový detektor plynu

Ultrazvuková detekce plynu využívá akustického snímače k identifikaci výkyvů hluku, který je nepostřehnutelný pro lidské ucho. Tyto detektory snímají zvuk v oblasti kmitočtů od 25 kHz do 100 kHz, které jsou generovány únikem plynu například z praskliny nebo netěsnosti ve spoji. Snímače reagují na zvuk generovaný plynem na ultrazvukových frekvencích, protože při normálním provozu je generovaný jen omezený ultrazvukový šum na rozdíl od šumu ve slyšitelném spektru.[5] Podrobnější princip ultrazvukových detektorů bude popsán v následující kapitole.

2 ULTRAZVUKOVÝ DETEKTOR ÚNIKU PLYNU

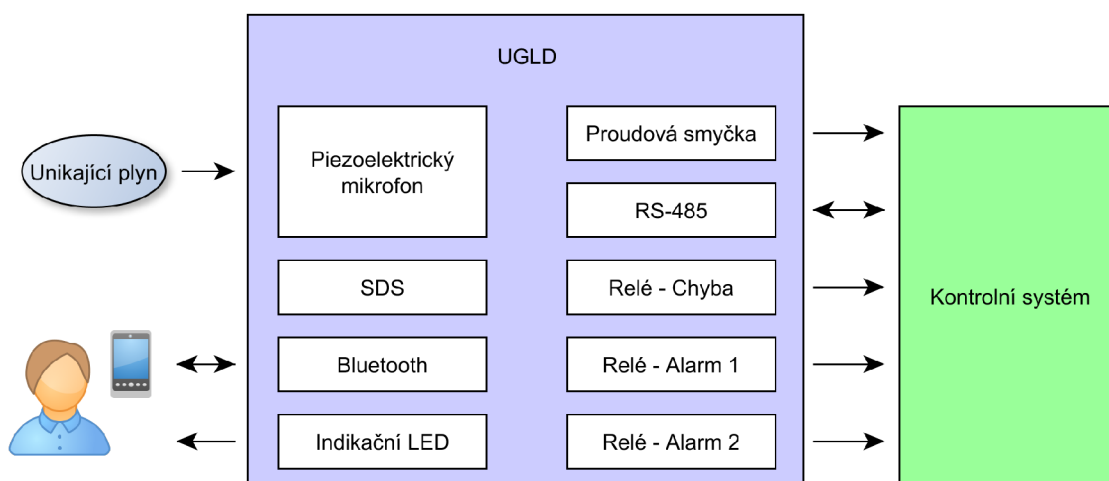
Jak již bylo naznačeno v předešlé kapitole, místo měření koncentrace plynu snímají tyto detektory zvuk a vyhodnocují změnu v šumovém pozadí. Pokud se plyn pohybuje z vysokotlaké oblasti skrze otvor do oblasti s nízkým tlakem, dochází ke generování „syčení“. Toto „syčení“ je širokopásmový zvuk, pohybující se v kmitočtové oblasti od jednotek Hz až po desítky MHz. Z tohoto kmitočtového rozsahu je patrné, že část zvuku leží ve slyšitelné oblasti a část v ultrazvukové oblasti, přičemž úroveň je závislá na poklesu tlaku přes netěsnost, fyzické velikosti netěsnosti a také na vlastnostech plynu.[6] Pro detekci úniku se využívá ultrazvuková část, v které je úroveň rušivých zvuků nižší než ve slyšitelné oblasti zvuku.

Ultrazvuk však může být generovaný i jinými zdroji, jako jsou například kompresory, ventilátory nebo elektromotory, které by mohly vytvářet falešné poplachy detektoru. Aby k tomuto nedocházelo, monitorují detektory okolní šum a spouští alarm pouze pokud dojde k převýšení tohoto šumu běžně o 6 dB. Navíc rušení bývá úzkopásmové oproti úniku plynu, a tudíž je vyhodnocování alarmů prováděno přes ultrazvukové spektrum rozdělené do několika pásem, kde musí být převýšení v několika pásmech najednou, aby došlo k alarmu. Graf na obrázku 2.1 zobrazuje spektrum akustického tlaku pro šumové pozadí, „malý“ a „velký“ únik.



Obr. 2.1: Graf spektrum akustického tlaku zvuku šumového pozadí a úniků plynu

2.1 Ultrazvukový detektor úniku plynu firmy Honeywell



Obr. 2.2: Blokovaný diagram ultrazvukového detektoru firmy Honeywell

UGLD (Ultrasound Gas Leak Detector) snímá zvuk pomocí piezoelektrického mikrofónu a dále signál vzorkuje A/D převodníkem. Na vzorky je aplikována rychlá Fourierova transformace pro přechod do frekvenční oblasti. Ve frekvenční oblasti je signál rozdělen do osmi stejně širokých, překrývajících se binů (pásem) počínaje frekvencí 20 kHz, konče frekvencí 70 kHz a šířkou 8 kHz viz tabulka 2.1.

V jednotlivých binech dojde k vyvolání alarmu, pokud dojde k překročení nastavené úrovně okolního šumu v daném binu (běžně je úroveň nastavena o 6 dB vyšší než okolní šum nebo může být definována uživatelem). Pokud dojde k takovému alarmu ve více než 4 binech (prevence vyvolání falešných alarmů od úzkopásmového

Tab. 2.1: Frekvenční rozsahy jednotlivých binů

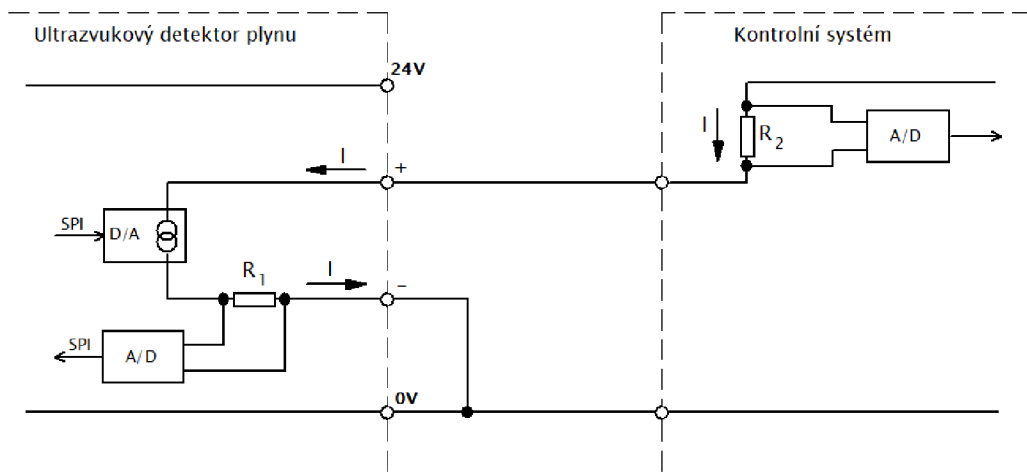
Číslo binu	Frekvenční rozsah [kHz]
1	20 - 28
2	26 - 34
3	32 - 40
4	38 - 46
5	44 - 52
6	50 - 58
7	56 - 64
8	62 - 70

rušení), je vyvolán Alarm 1. K vyhlášení Alarmu 2 pak dochází v časovém rozmezí od 1 sekundy do 600 sekund (definováno uživatelem) od vyhlášení Alarmu 1.

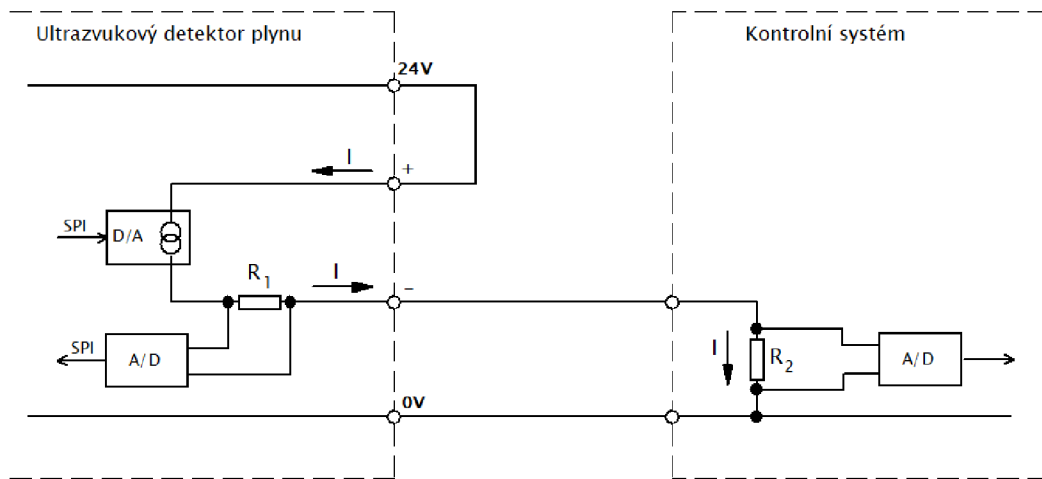
2.1.1 Proudová smyčka 4 – 20 mA (mA loop)

Proudová smyčka 4 – 20 mA je standard pro komunikaci v průmyslovém odvětví. Díky velké šumové imunitě je možné přenášet data na vzdálenosti stovek metrů, kde obvyklé metody založené na přenosu pomocí velikosti napětí nepracují spolehlivě. Proudová smyčka může být buď analogová, kdy jsou hodnoty vyjádřeny proudem v rozsahu 4 – 20 mA, nebo digitální, kdy velikost proudu 4 mA odpovídá logické 0 a velikost proudu 20 mA odpovídá logické 1. Vysoké účinnosti proti rušení je způsobeno nízkou impedancí smyčky a volby kroucené dvoulinky jako přenosové médium. Jelikož smyčka využívá proudu 4 – 20 mA lze využít proudu menšího než 4 mA k detekci rozpojené smyčky a proudu vyššího než 20 mA k detekci poruchy. Výhodou je též možnost napájení zařízení ze smyčky a snadná konverze proudu na napětí (pomocí rezistoru).

Proudová smyčka, která je aplikována v UGLD, má možnost operace ve dvou režimech (zapojení) a to „sink“ nebo „source“. Režim „sink“ znamená, že proudová smyčka detektoru se chová jako spotřebič, tedy zdrojem proudu je zařízení, se kterým detektor komunikuje. Naopak v režimu „source“ je zdrojem proudu detektor a jako spotřebič se chová zařízení připojené k detektoru. Režimy proudové smyčky jsou naznačeny na obrázku 2.3 a obrázku 2.4.



Obr. 2.3: Proudová smyčka - zapojení „sink“



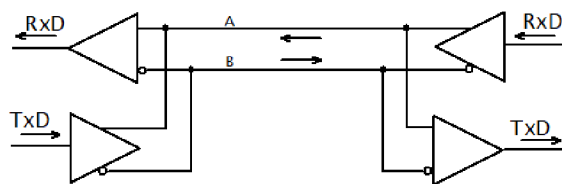
Obr. 2.4: Proudová smyčka - zapojení „source“

Detektor rozpoznává následující úrovně proudu:

- 0 mA = Poruchový stav
- 1 – 3 mA = Výstraha chyby
- 4 mA = OK – Vše v pořádku
- 16 mA = Alarm 1
- 20 mA = Alarm 2
- 22 mA = Poruchový stav

2.1.2 RS-485

RS-485 je stejně jako proudová smyčka standard pro sériovou komunikaci využívaný především v průmyslovém odvětví. Tento standard má dvouvodičové zapojení (nejčastěji kroucená dvojlinka) a umožňuje sériovou poloduplexní komunikaci, viz obrázek 2.5. Signál se přenáší po vodiči A jako neinvertovaný a po vodiči B invertovaný (signály jsou vůči sobě v protifázi) a přijímač vyhodnocuje jejich napěťový rozdíl, čímž se úplně potlačí součtové rušení na vodičích. Sběrnice dovoluje připojit až 32 zařízení a komunikovat na dálku až 1200 metrů. Touto periferií lze provádět veškerou komunikaci, konfiguraci a aktualizaci detektoru.



Obr. 2.5: Princip RS-485

2.1.3 Topný obvod

Ultrazvukové detektory úniku plynu musí být schopné pracovat při extrémních teplotách, které se mohou pohybovat od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ až po $75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Protože většina součástek v detektoru (například procesor) pracují až od teploty vyšší než $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, musí být uvnitř detektoru topný obvod, který zajišťuje takovou teplotu (pro tento detektor je $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$), při které jsou schopné pracovat všechny komponenty.

Při zapnutí detektoru se vždy jako první spustí topný obvod, který zkontroluje vnitřní teplotu. Pokud je teplota nižší než $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ začne topný obvod vyhřívat vnitřní prostor detektoru. K zapnutí ostatních komponent dojde až po dosažení již zmiňovaných $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a topný obvod přestává vyhřívat až po dosažení teploty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.1.4 Senzory teploty

Pro topný obvod je nutné měřit vnitřní teplotu detektoru. K měření se využívají tři senzory teploty na různých místech v detektoru. Teploty z jednotlivých senzorů se vůči sobě porovnávají a vyhodnocují své vzájemné odchylky, která nesmí být větší než definovaná odchylka v úložišti dat (SDS - System Data Store). Protože každá část detektoru může mít jinou teplotu, vyhodnocuje se teplota pro zapnutí vytápění vůči senzoru s nejnižší teplotou a pro vypnutí vytápění senzor s nejvyšší teplotou. Důvod je prostý, při nízkých teplotách nesmí dojít k tomu, že některá část detektoru bude mít teplotu nižší než definované minimum pro správnou funkci součástek. Naopak při vyšších teplotách nesmí dojít k přehřátí míst s velkou teplotou.

2.1.5 Komunikační relé

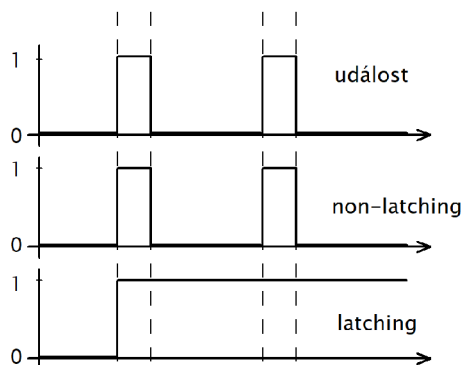
Detektor je vybaven trojicí relé, které jsou určeny k indikaci stavu detektoru. První relé vyjadřuje stav Alarmu 1, který nastává, pokud dojde k převýšení prahových úrovní intenzity zvuku ve více než čtyřech bincích (pásmech) spektra. S tímto souvisí druhé relé, které vyjadřuje stav Alarmu 2. Poslední relé udává, jestli je detektor ve stavu správné funkce nebo došlo k nějaké chybě a detektor není schopný pracovat správně.

UGLD má možnost naprogramování relé do stavů NO (Normally Open – dokud nedojde k události tak je relé rozpojeno) nebo NC (Normally Close – dokud nedojde k události tak je relé sepnuto) viz obrázek 2.6.



Obr. 2.6: Typy kontaktů relé

Další možností programového nastavení relé jsou režimy „non-latching“ (pokud dojde k události, relé se přepne a setrvává v tomto stavu, dokud neskončí událost) a „latching“ (pokud dojde k události, relé se přepne a setrvává v tomto stavu i po skončení události, do původního stavu se relé navrátí pouze „vynulováním“ obsluhou nebo přerušením napájení) viz obrázek 2.7.



Obr. 2.7: Relé režimy „latching“ a „non-latching“

2.1.6 Hodiny reálného času - RTC (Real-Time Clock)

V mnoha situacích, například při vyhlášení alarmu, je třeba znát i čas, kdy k tomuto alarmu došlo. Za tímto účelem se využívají hodiny reálného času (RTC), což je integrovaný obvod udržující v detektoru aktuální čas. Tento obvod je připojený na baterii, která zajišťuje energii, i když detektor není napájen. Pokud by RTC nemělo baterii, tak by při každém odpojení detektoru od napětí mělo za následek ztrátu aktuálního času (resetování na výchozí hodnotu času).

2.1.7 Ukládání dat

Detektor má svoji vlastní paměť (SDS - System Data Store) pro ukládání a vyčítání všech potřebných dat. Mezi tyto data patří například velikost rozhodovacích úrovní pro jednotlivé biny (pásma) k vyhlášení alarmu, denní průměrné hodnoty šumu, stavu relé a indikační LED. K tomuto úložišti lze přistupovat pomocí sériové linky RS-485 a Bluetooth.

2.1.8 Indikační LED

Barvy indikační LED by se měly měnit podle stavu detektoru, jak ukazuje následující tabulka 2.2, kde délka jednoho časového úseku je 400 ms.

Tab. 2.2: Režimy detektoru a barvy indikační LED

Stav	Časový úsek a barva					
Bez napájení	K	K	K	K	K	K
Normální provoz	G	G	G	G	G	G
Údržba	Y	Y	K	G	G	K
Chyba	Y	Y	K	K	K	K
Potlačený mód	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Pre-alarm/alarm	R	R	K	K	K	K
Mimo rozsah	R	R	R	K	K	K
Bluetooth párování / připojování	B	K	K	B	K	K
Bluetooth spárováno / připojeno	B	B	B	B	B	B

2.1.9 Bluetooth

Tato technologie (nejedná se o low energy verzi bluetooth) je využita k veškeré komunikaci, konfiguraci a aktualizacím detektoru pomocí mobilního telefonu s androidem. Bluetooth je využito jako sériová linka, na které se komunikuje pomocí protokolu FP2. Testování bluetooth pomocí mobilní aplikace není předmětem této diplomové práce.

2.1.10 Alarmy

Jak už bylo zmíněno, detektor pracuje tak, že vyhodnocuje úroveň zvuku nad zvolenými úrovněmi okolního šumu v jednotlivých frekvenčních pásmech. Hlášení alarmů probíhá pomocí proudové smyčky a dvou relé (případně stavem indikační LED). Detektor navíc rozpoznává dva různé testovací signály určené k ověření funkčnosti

detektoru. Testovací signály 1 (TS1) a 2 (TS2) vyvolají poplach, který bude signalizován pouze indikační LED, blikající červeně, proudová smyčka a relé žádný alarm nesignalizují. Testovací signály mají frekvenci 44 kHz a spadají tak do čtvrtého binu. Rozdíl mezi signály je v modulačním kmitočtu, který má charakter obdélníku (ON-OFF modulace). Modulační kmitočet pro TS1 je 3 Hz a pro TS2 10 Hz, střída je 50 %.

2.1.11 Přepočet napětí z piezoelektrického senzoru na hladinu akustického tlaku

Pro výpočet hladiny akustického tlaku v jednotkách dB je nejprve třeba přepočítat napětí na akustický tlak v jednotkách Pa, což se provede vzorcem 2.1.

$$U_{RMS}(Pa) = \frac{U_{RMS}}{C_{mikrofon}} \quad (2.1)$$

Kde U_{RMS} je napěťová velikost vzorku [mV] a $C_{mikrofon}$ je konstanta citlivosti mikrofonu [mV/Pa].

Hladina akustického tlaku pro daný bin v jednotkách dB je pak dána vzorcem 2.2.

$$SPL(dB) = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{\sqrt{\sum U_{RMS}(Pa)^2}}{P_{ref}}\right) \quad (2.2)$$

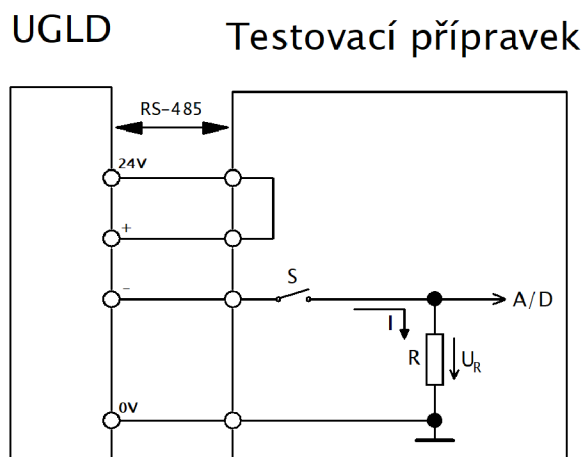
Kde P_{ref} je referenční tlak 20 μ Pa a vzorec počítá se sumou vzorků spadajících do binu.

3 NAVRŽENÉ METODY TESTOVÁNÍ

V této kapitole budou popsány navržené metody pro testování některých částí detektoru. Testování bude probíhat bez zásahu do firmwaru detektoru, budou využívány pouze příkazy přístupné uživateli.

Proudová smyčka

Test bude prováděn pro source mód detektoru, což umožní jednodušší koncepci testovacího přípravku z hlediska napájení a měření proudu. Schéma zapojení je naznačeno na obrázku 3.1. K měření se využije nejjednodušší převodník proudu na napětí a to je rezistor. Úbytek napětí na rezistoru U_R , vyvolaný průchodem proudu I , je převáděn z analogové hodnoty na digitální pomocí A/D převodníku a dále zpracováván v mikrokontroléru. Pro simulaci rozpojené smyčky je v obvodu využito kontaktů relé, které budou opět řízeny mikrokontrolérem. Změna proudu ve smyčce může být vyvolávána pomocí „force“ funkcí detektoru (jež umožňují nastavit libovolnou velikost proudu smyčky nebo vyvolat alarm), změnou limitních úrovní jednotlivých binů pro vyvolání alarmů nebo pomocí D/A převodníku, jehož výstup bude připojený místo piezoelektrického mikrofону detektoru a bude generovat ultrazvukový šum (převyšující nastavené úrovně binů) a také přímým nastavením proudu proudové smyčky. Komunikace s detektorem bude zajištěna pomocí sběrnice RS-485.



Obr. 3.1: Princip testování proudové smyčky

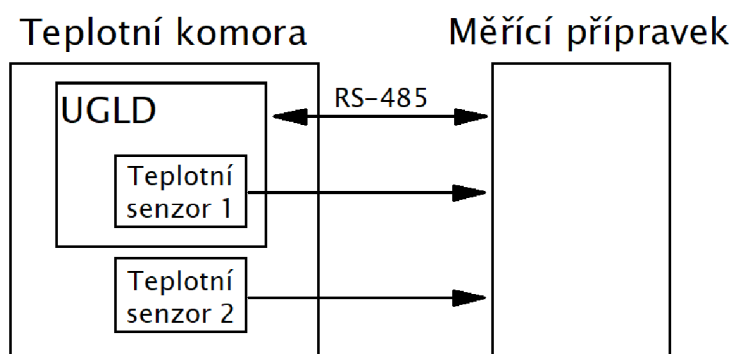
Topný obvod

Pro testování topného obvodu bude potřeba umístit detektor do chladicí komory, v níž bude možno nastavovat teplotu dle technické specifikace detektoru tj. od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$

do 75 °C. Měřicí přípravek bude vybaven dvěma senzory teploty. První senzor se bude nacházet uvnitř detektoru pro snímání vnitřní teploty, druhý senzor bude umístěn vně detektoru a bude měřit teplotu chladicí komory. Chladicí komora bude cyklovat mezi definovanými teplotami a testovací přípravek pak bude kontrolovat vyhřívání detektoru a jeho zapnutí. Kontrola správného zapnutí detektoru bude prováděna vyčítáním verze firmwaru z SDS pomocí komunikace přes RS-485. Test je znázorněn na obrázku 3.2.

Senzory teploty

Hodnoty senzorů teploty detektoru budou porovnávány se senzorem teploty připojeným k měřicímu přípravku a to s určitou tolerancí (teplota v určitých částech detektoru se může mírně lišit). Test bude proveden v chladicí komoře nebo může být využit rychlý test pouze při pokojové teplotě, kdy se zkontroluje pouze správnost výpočtu teploty a funkčnost senzorů.



Obr. 3.2: Princip testování topného obvodu

Komunikační relé

Relé bude spínat napětí 3,3 V se vstupním pinem mikrokontroléru. Detektor se nastaví do režimů, jež udávají jednotlivé relé a to pomocí komandu ForceRelay (pro otestování základní funkce relé – sepnutí/rozepnutí) a vyvoláním alarmů a chybového režimu, pro různé konfigurace relé (NC, NO, latching, non-latching). Ke komunikaci s detektorem se využije RS-485.

Hodiny reálného času - RTC (Real-Time Clock)

Pomocí RS-485 se do RTC zapíše čas, detektor bude následně vypnut a znovu zapnut a dojde k vyčtení času, který bude porovnán se zapsaným časem navýšeným o

dobu trvající mezi čtením a zápisem. Tímto se ověří, že RTC funguje při vypnutém napájení detektoru a že čas se přičítá správně (nebude mít žádnou odchylku). Toto měření bude prováděno v chladicí komoře pro několik teplot v rozmezí od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (detektor není zapnut pro teploty nižší než $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) po $75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ukládání dat

Pro ověření správného ukládání dat do detektoru se pomocí komunikace přes RS-485 zapíše do SDS hodnoty pro limity vyhodnocení alarmů. V testu se budou zapisovat hodnoty, které jsou v rozsahu $0 - 200\text{ dB}$ (tyto hodnoty detektor má zapsat) a hodnoty, které jsou mimo tento rozsah (tyto hodnoty detektor nesmí zapisovat). V rámci testu bude třeba detektor několikrát vypnout a zapnout, z tohoto důvodu bude napájení detektoru vedeno přes relé, které bude ovládáno mikrokontrolérem.

Indikační LED

Test bude proveden připojením čtyř pinového konektoru vyvedeného ze vstupních pinů mikrokontroléru namísto indikační LED, čímž bude zajištěno přesné snímání signálů, které tuto LED ovládají. Režimy detektoru, respektive jejich světelnou reprezentaci, budou nastavovány pomocí RS-485 a D/A převodníku pro bílý šum. Mikrokontrolér bude vyhodnocovat správnost barvy a časové prodlevy.

Bluetooth

Test této periferie bude pouze v podobě navázání spojení s detektorem, což je signalizováno odpovídající barvou indikační LED.

Alarmy

K testování alarmů bude využit D/A převodník, který převede namodelovaný signál bílého šumu na analogový. Tento signál bude přiveden na místo výstupu piezoelektrického senzoru zvuku. Tímto se zajistí téměř nulový útlum signálu, který by se musel řešit v případě využití ultrazvukového reproduktoru (jako zdroje šumu). Test bude zahrnovat i zkoušku testovacích signálů TS1 a TS2. Správné vyhlášení alarmů se bude kontrolovat pomocí proudové smyčky a odpovídajících relé.

4 TESTOVACÍ PŘÍPRAVEK

4.1 Výběr vývojové desky

K vytvoření testovacího přípravku se použije komerčně prodávaná vývojová deska, která bude co nejvíce splňovat nároky pro hardwarovou podporu testů. Na trhu je nepřeberné množství takovýchto vývojových kitů, každý vyhovující jiné aplikaci. Pro návrh testovacího přípravku byly srovnávány vývojové kity Raspberry PI, Banana Pi, Beaglebone a Odroid. Základní srovnání kitů je zpracováno v tabulce 4.1 a 4.2. Klíčové vlastnosti kitu jsou periferie UART, I2C, SPI, A/D a D/A převodník, PWM, počet GPIO pinů, USB a Bluetooth rozhraní a dostačující paměť.

Tab. 4.1: Porovnání vývojových kitů 1

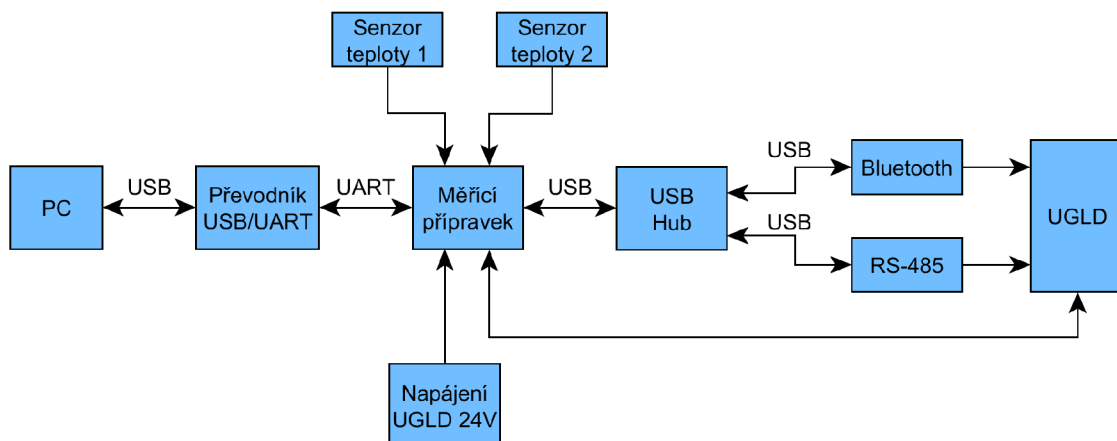
Raspberry PI	1 Model B+	2 Model B	3 Model B
CPU	ARM1176JZF-S 700 MHz	ARM Cortex-A7 900 MHz	ARM Cortex-A53 1,2 GHz
Počet jader	1	4	4
RAM [GB]	0,5	1	1
USB port	4	4	4
Interní paměť	MicroSDHC	MicroSDHC	MicroSDHC
UART	1	1	1
I2C	1	1	1
SPI	1	1	1
PWM	4	4	4
A/D	0	0	0
D/A	0	0	0
Bluetooth	X	X	Verze 4.1
Počet GPIO pinů	26	26	26
Cena [\$]	25	35	35

Z navržených metod pro testování vyplývá požadavek na testovací přípravek, který by měl mít minimálně 10 vstupně/výstupních pinů, A/D převodník, D/A převodník nebo PWM, Bluetooth (nesmí být low energy verze), RS-485 a rozhraní zajišťující komunikaci s počítačem. Pro testovací přípravek vyhovuje nejvíce kit BeagleBone Black (BBB). Tento vývojový kit obsahuje 5 UART periferií, 3 I2C sběrnice, SPI, 7x ADC a 69 GPIO pinů (které nejsou využitelné všechny vzhledem ke sdílení těchto pinů s jinými hardwarovými součástmi). Rozšíření této desky o Bluetooth bude řešeno pomocí USB hardwarového klíče (USB dongle) a komunikace pomocí RS-485 bude probíhat přes komerční převodník USB/RS-485. Protože

Tab. 4.2: Porovnání vývojových kitů 2

Raspberry PI	Banana Pi M2 Berry	BeagleBone Black	Odroid-C1
CPU	ARM Cortex-A7 V40 1 GHz	ARM Cortex-A8 1 GHz	ARM Cortex-A5 1,5 GHz
Počet jader	4	1	4
RAM [GB]	1	0,5	1
USB port	4	1x USB host 1x mini USB client	4
Interní paměť	MicroSDHC/SATA	4 GB eMMC + MicroSD	MicroSD
UART	1	5	1
I2C	1	3	2
SPI	1	1	1
PWM	5	8	4
A/D	0	7	2
D/A	0	0	0
Bluetooth	Verze 4.0	X	X
Počet GPIO pinů	26	69	25
Cena [\$]	35	49	35

BeagleBone podporuje pouze jedno host USB, bude muset být použit USB Hub pro rozšíření portů. Komunikace s počítačem bude řešena převodníkem USB/UART. Generování šumu a testovacích signálů bude zajištěno externím D/A převodníkem. Zapojení testovacího přípravku jako celku je naznačeno na obrázku 4.1. Toto zapojení obsahuje, kromě Bluetooth a RS-485, dva externí senzory teploty (pro testování topného obvodu), jejichž připojení může být dle typu senzoru skrze I2C, SPI, 1-wire sběrnici nebo A/D převodník (v případě analogového senzoru). Blok Napájení UGLD 24V zde slouží pouze k samotnému napájení detektoru, testovací přípravek bude napájen z počítače.



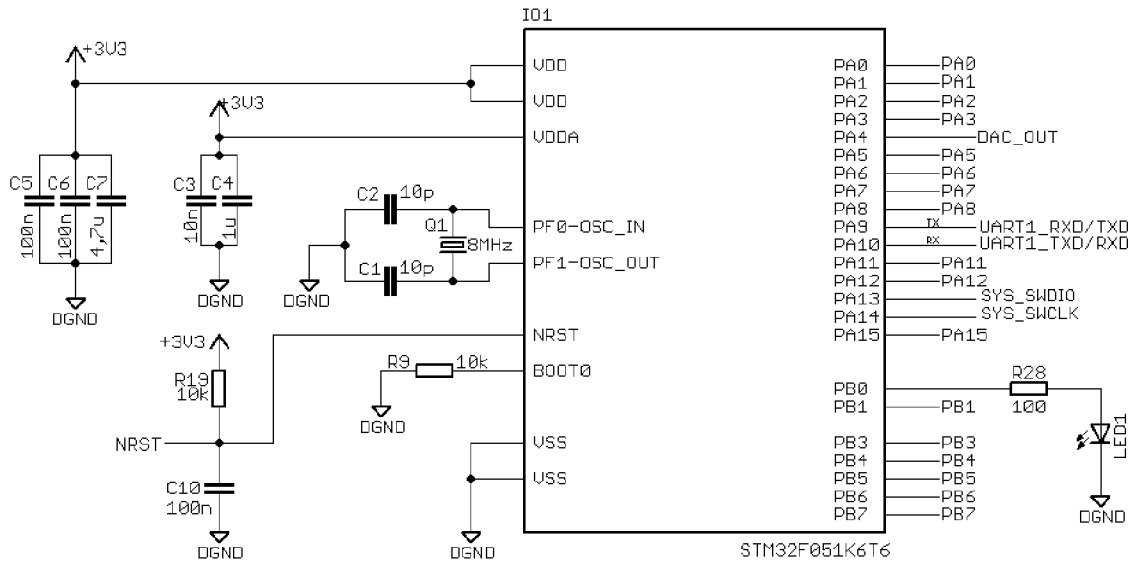
Obr. 4.1: Blokové schéma zapojení měřícího přípravku

4.1.1 D/A převodník

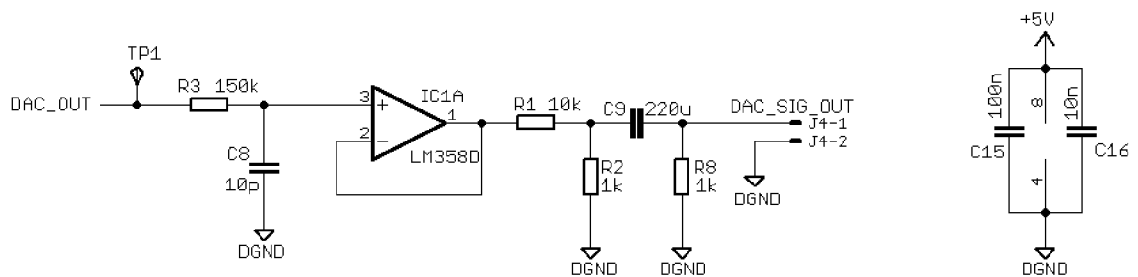
Vzhledem k ceně a provedení bude k této realizaci využít 12-bit D/A převodník mikrokontroléru STM32F051K6T6. To umožní generovat signály bez přerušování programu ve vývojovém kitu BeagleBone Black, který bude díky tomu například schopný snadněji měřit prodlevy mezi blikáním indikační LED. Další výhodou této realizace může být navýšení počtu využitelných GPIO pinů pro rozšíření testovacích metod. Pro tento D/A převodník výrobce udává maximální dobu nastavení $t_{SETTING} = 4 \mu\text{s}$ což odpovídá vzorkování 250 kS/s a maximální vzorkovací frekvenci při změně o $+1\text{LSB}$ $f_{vz} = 1 \text{ MS/s}$. Z tohoto plyne splnění Nyquistova teorému pro generování frekvencí do 120 kHz.

Zapojení mikrokontroléru STM32F051K6T6 je na obrázku 4.2. Obvod je napájen napětím 3,3 V a dle doporučení výrobce doplněn blokovacími kondenzátory, které snižují rušení a měly by se z tohoto důvodu nacházet co nejbližně patřičnému vývodu. Zdrojem hodinového signálu je zde krystalový oscilátor naladěný na frekvenci 8MHz. Výstup D/A převodníku (DAC_OUT) je přiveden k filtru, který je na obrázku 4.3. Filtr je složen z dolní propusti (R_3 a C_8 s mezní frekvencí 106 kHz), impedančního oddělovače, napěťového děliče a horní propusti (C_9 a R_8 k oddělení stejnosměrné a střídavé složky). Na obrázku 4.4 je zobrazena přenosová charakteristika tohoto filtru, která byla simulována v programu OrCAD. Mezní kmitočet odečtený z grafu simulace je 118 kHz.

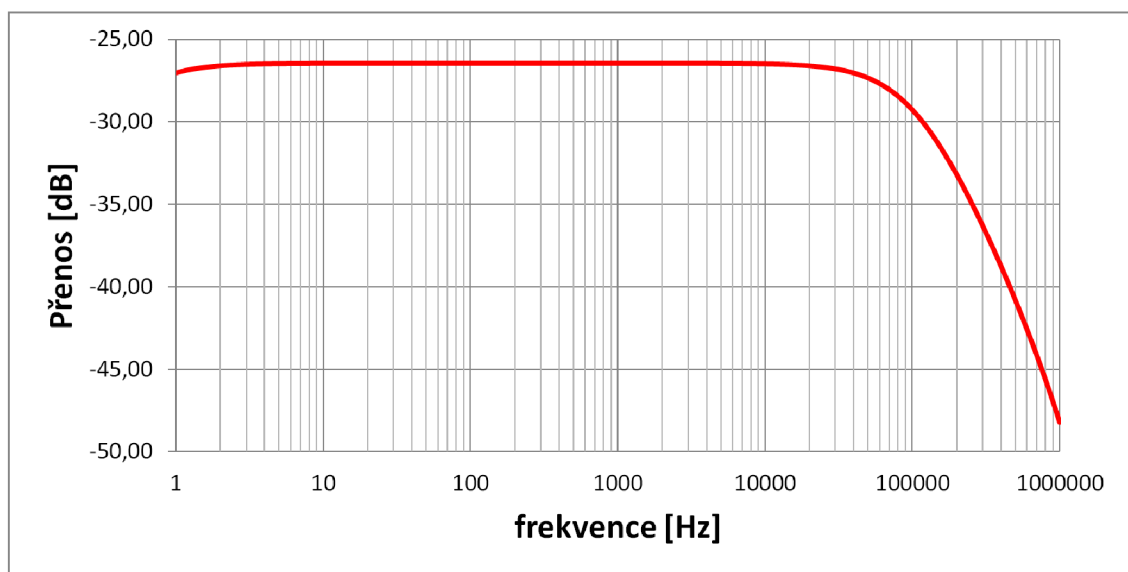
Celé zapojení rozšiřující desky lze nalézt v příloze.



Obr. 4.2: STM32F051K6T6 schéma zapojení



Obr. 4.3: Schéma zapojení filtru pro D/A převodník

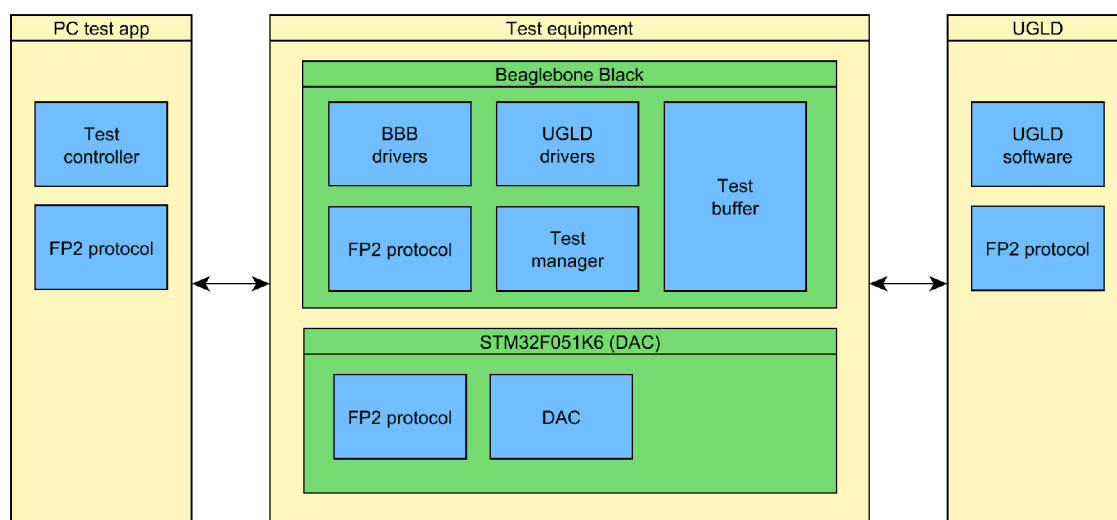


Obr. 4.4: Přenosová charakteristika filtru

5 SOFTWAREVÁ ARCHITEKTURA

5.1 Vnější softwarová architektura

Na obrázku 5.1 je znázorněna vnější softwarová architektura celého systému. Všechny testy jsou řízeny ze strany počítače, který se s testovacím přípravkem dorozumívá protokolem FP2. Softwarová architektura testovacího přípravku se skládá ze dvou částí. První část je věnována vývojovému kitu Beaglebone Black, jehož základ pro komunikaci jak s detektorem, tak s počítačem tvoří protokol FP2. Blok BBB drivers je část, která se stará o ovládání periférií vývojového kitu Beaglebone Black (například GPIO pinů, UART, USB atp. viz dále). Na tuto část navazuje blok UGLD drivers, který využívá zmíněné periferie k jednoduššímu ovládání detektoru a psaní testů. O spouštění požadovaných testů se stará Test manager, jehož úkol je mimo jiné i zasílání informací z probíhajícího testu do počítače. Poslední modul tvoří zásobník s testy. Druhá část je věnována mikrokontroléru STM32F051K6 s D/A převodníkem, který také obsahuje ovladač pro FP2 protokol a dále obsluhu DAC pro generování signálů a šumu. Jmenované bloky (respektive jejich subbloky) budou detailně popsány dále.



Obr. 5.1: Schéma softwarové architektury

5.2 Vnitřní softwarová architektura

V následujících odstavcích budou popsány významy bloků a subbloků vnitřní softwarové architektury testovacího přípravku znázorněné na obrázku 5.2.

BBB drivers – jak již bylo zmíněno, tento blok se stará o přístup k periferiím vývojového kitu a odděluje jej na jednodušší API. Popis subbloků:

- UART – obsahuje funkce pro export, inicializaci, otevření a uzavření sériového portu, dále funkce pro přijímání a odesílání dat touto periferií
- USB - obsahuje funkce pro export, inicializaci, otevření a uzavření sériového portu, dále funkce pro přijímání a odesílání dat touto periferií
- ADC – umožňuje export A/D převodníku a vyčítání jeho hodnot
- Serial – je využíván subbloky UART a USB, kterým umožňuje zápis a čtení jednoho bytu z/do příslušné složky periferie
- OWRC – ovladač pro jednoduchý přístup ke složkám operačního systému Debian (vytváří uživatelské API pro zápis a četní (do)těchto složek)
- 1-wire – umožňuje čtení teplotních senzorů na sběrnici one wire
- GPIO – důležitá knihovna pro export/unexport a ovládání GPIO pinů vývojového kitu Beaglebone Black
- Time – knihovna pro práci se systémovým časem, obsahuje funkce pro nastavení a čtení systémového času a dále funkci k realizaci časového limitu (timeout)

UGLD drivers – obsahuje prvky pro ovládání a testování ultrazvukového detektoru úniku plynu. Popis subbloků:

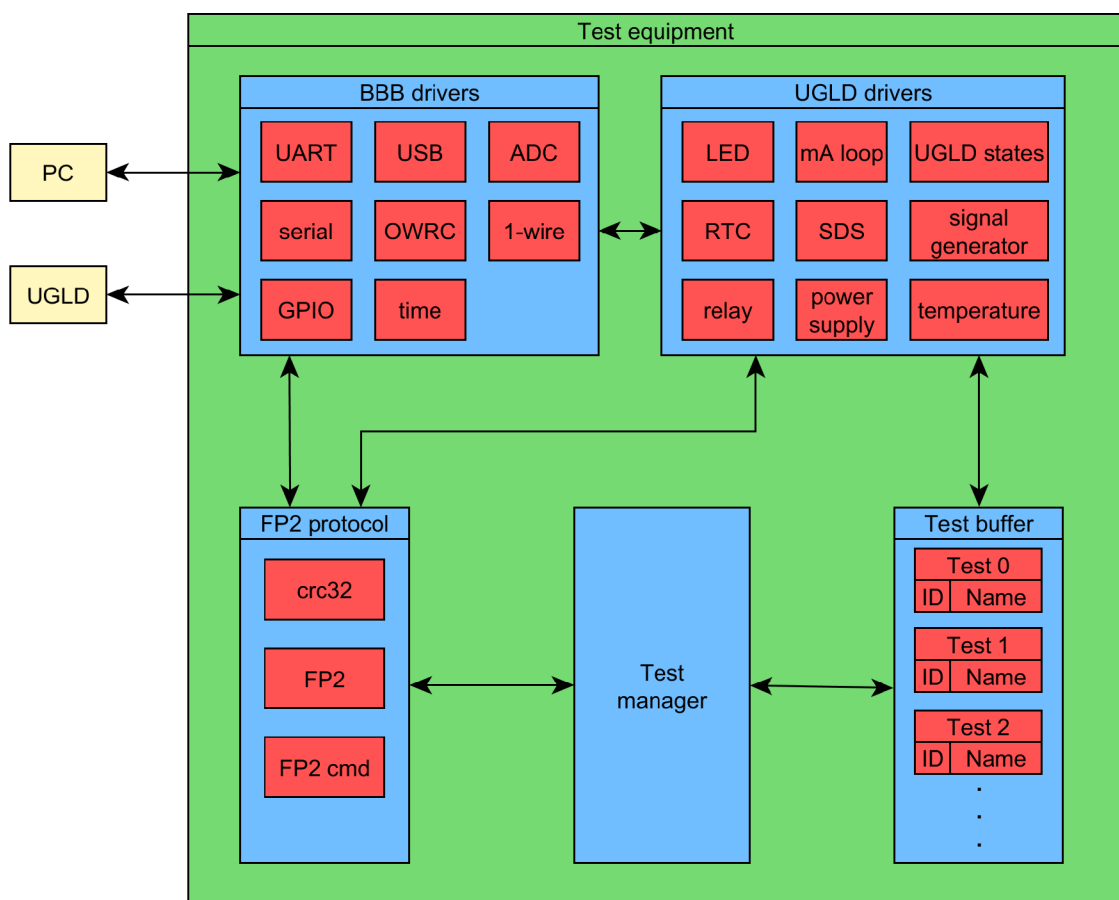
- LED – slouží k ovládání módů indikační LED na detektoru (force funkce) a obsahuje funkce ke čtení právě svítící barvy a měření časových úseků blikání LED
- mA loop – obsluha proudové smyčky, podporující spojení/rozpojení smyčky, čtení proudu, vyhodnocování stavu detektoru (odvozený z velikosti proudu) a force funkci k nastavení proudu smyčky
- UGLD states – nese s sebou enumerické typy stavů detektoru a je schopný číst stav detektoru
- RTC – ovladač k zapisování a vyčítání času v detektoru
- SDS – velmi důležitý ovladač pro komunikaci s SDS, umožňuje sestavit slovník všech prvků v SDS a dále zapisovat a vyčítat hodnoty či celé rozsahy hodnot z/do detektoru
- Signal generator – v tomto subbloku se nachází funkce k ovládání procesoru STM32F051K6 s integrovaným D/A převodníkem, umožňující generovat šum a test signály, komunikace s tímto procesorem probíhá přes UART komunikačním protokolem FP2
- Relay – podporuje práci s relé detektoru (nastavení NO/NC, latching/non-latching, force funkce a čtení kontaktů relé)
- Power supply – jednoduchý ovladač k zapínání/vypínání napájení detektoru

- Temperature – podpora práce s teplotami detektoru a teplotními senzory DS18B20

FP2 protocol – stará se o vytvoření FP2 paketu, odeslání a příjem dat, zpracování příkazů a jejich potvrzení

Test manager – blok, který spouští odpovídající test na požadavek počítače a zasílá zpět informace o testu

Test buffer – zásobník s napsanými testy (každý test má přiřazené ID a název v bloku test manager), tento blok využívá připravených modulů v BBB drivers a UGLD drivers



Obr. 5.2: Vnitřní softwarová architektura vývojového kitu

6 PROGRAMOVÁNÍ

6.1 Debian

Vývojový kit Beaglebone Black je provozován na operačním systému Debian, který využívá Linuxového jádra. Tento operační systém je zdarma a je podporován výrobcem Beagleboard. Systém může být jak bez grafického, tak i s grafickým prostředím.

V této práci bylo využíváno operačního systému Debian 9.3 LXQT (s grafickým prostředím) a Linuxovým jádrem 4.9.78-ti-r94. Ovládání mikropočítače probíhá ve většině případů přes terminál, který může být spuštěn například programem Putty po připojení kitu k počítači (USB kabelem) nebo v jeho samotném grafickém prostředí. Propojení kitu s počítačem umožňuje SSH nebo sériové připojení s parametry zobrazenými v tabulce 6.1.

Po připojení je vyžadováno uživatelské jméno a heslo, ve výchozím nastavení je to `debian` a `temppwd` (viz výpis 6.1).

Výpis 6.1: Připojení k vývojovému kitu - úvodní výpis

```
1 Debian GNU/Linux 9 beaglebone ttyGS0
2
3 BeagleBoard.org Debian Image 2018-01-28
4
5 Support/FAQ: http://elinux.org/Beagleboard:
   BeagleBoneBlack_Debian
6
7 default username:password is [debian:temppwd]
8
9 beaglebone login: debian
10 Password:
```

Pro změnu aktuální složky slouží příkaz „`cd`“ následovaný názvem složky nebo příkaz „`cd ..`“ pro přesun do nadřazené složky. Příkazem „`ls`“ se provede výpis složek a souborů v aktuálním adresáři.

Tab. 6.1: Parametry komunikace kitu s počítačem

Komunikační rychlost [Bd]	115200
Počet bitů dat v jednom rámci	8
Počet stop bitů	1
Parita	Žádná
Řízení toku	Žádné

Jak již bylo zmíněno, k této práci bude třeba využívat UART, 1-wire sběrnici, USB a ovládat GPIO piny. Konfigurace těchto periférií se nejlépe provádí opět přes terminál, k čemuž je potřeba znát stromovou strukturu zařízení neboli device tree. K tomuto „seznamu“ lze přistoupit příkazem v následujícím výpisu 6.2:

Výpis 6.2: Device tree (DTS)

```
1 debian:~$ ls /lib/firmware
```

system poté vypíše všechny dostupné ovladače pro vývojovou desku. K této diplomové práci jsou důležité následující položky:

- BB-ADC-00A0.dtbo pro využití A/D převodníku, jež je součástí vývojového kitu
- BB-UART1-00A0.dtbo a BB-UART4-00A0.dtbo pro používání UART periférie ke komunikaci s počítačem a D/A převodníkem
- BB-W1-P9.12-00A0.dtbo pro práci s teplotními senzory DS18B20

Tyto ovladače je potřeba zavést do slotu, aby o nich systém věděl. K této operaci je potřeba mít plné oprávnění, což se provede napsáním „sudo“ před příkaz, systém si poté vyžádá heslo a plné oprávnění platí pouze pro jeden příkaz nebo použitím „sudo su“, které umožní mít plné oprávnění po celou dobu až do odvolání. Zavedení ovladačů do systému je ukázáno ve výpisu 6.3. Zavedené ovladače pak lze zkontrolovat vypsáním souboru slots příkazem „cat“ (viz výpis 6.4).

Výpis 6.3: Zavedení ovladačů do systému

```
1 debian:~$ sudo su
2 [sudo] password for debian:
3 root:/home/debian:~$ echo BB-ADC > /sys/devices/platform/
  bone_capemgr/slots
4 root:/home/debian:~$ echo BB-UART1 > /sys/devices/platform/
  bone_capemgr/slots
5 root:/home/debian:~$ echo BB-UART4 > /sys/devices/platform/
  bone_capemgr/slots
6 root:/home/debian:~$ echo BB-W1-P9.12 > /sys/devices/platform/
  bone_capemgr/slots
```

Výpis 6.4: Zobrazení složky slots pomocí příkazu cat

```
1 root:/home/debian:~$ cat /sys/devices/platform/bone_capemgr/
  slots
2 0: PF----- -1
3 1: PF----- -1
4 2: PF----- -1
5 3: PF----- -1
6 4: P-O-L-   0 Override Board Name,00A0,Override Manuf,BB-ADC
```

```

7 5: P-O-L- 1 Override Board Name,00A0, Override Manuf,BB-UART1
8 6: P-O-L- 2 Override Board Name,00A0, Override Manuf,BB-UART4
9 7: P-O-L- 3 Override Board Name,00A0, Override Manuf,BB-W1-P9
  .12

```

USB se do systému nějak nezavádí, protože ho detekuje sám. Nicméně je třeba společně s periferiemi UART provést konfiguraci. Ta se provádí příkazem „stty“ nad příslušným souborem periferie. Tyto soubory se nacházejí ve složce /dev/. Pro UART jsou to soubory ttyO* a pro USB ttyUSB*, kde * značí číslo periferie. Konfigurace je znázorněna na výpisu 6.5, kde 115200 značí rychlost v Baudech, cs8 je délka jednoho znaku, -cstopb značí jeden stop bit, -parenb znamená žádnou kontrolu parity, raw oznamuje systému, že má přijímat surová data, min 0 udává počet bytů pro ukončení čtení a time 1 časový interval (v desetínách sekund) pro ukončení čtení.

Výpis 6.5: Konfigurace sériových portů pomocí příkazu stty

```

1 root:/home/debian:~$ stty -F /dev/ttyO1 115200 cs8 -cstopb -
  parenb raw min 0 time 1
2 root:/home/debian:~$ stty -F /dev/ttyO4 115200 cs8 -cstopb -
  parenb raw min 0 time 1
3 root:/home/debian:~$ stty -F /dev/ttyUSB0 115200 cs8 -cstopb -
  parenb raw min 0 time 1

```

Pro práci s GPIO piny je potřeba udělat export daného pinu. Poté lze nastavit pin jako vstupní nebo výstupní a případně ještě nastavit nebo vyčíst jeho hodnotu. Výpis ukazuje příklad exportu a nastavení pinu 61 jako výstupní s logickou hodnotou 0. Pomocí příkazu „cat“ nad danou složkou lze vyčíst stav pinu.

Výpis 6.6: Příklad nastavení GPIO pinu

```

1 root:/home/debian:~$ echo 61 > /sys/class/gpio/export
2 root:/home/debian:~$ echo out > /sys/class/gpio/gpio61/direction
3 root:/home/debian:~$ echo 0 > /sys/class/gpio/gpio61/value
4 root:/home/debian:~$ cat /sys/class/gpio/gpio61/direction
5 out
6 root:/home/debian:~$ cat /sys/class/gpio/gpio61/value
7 0

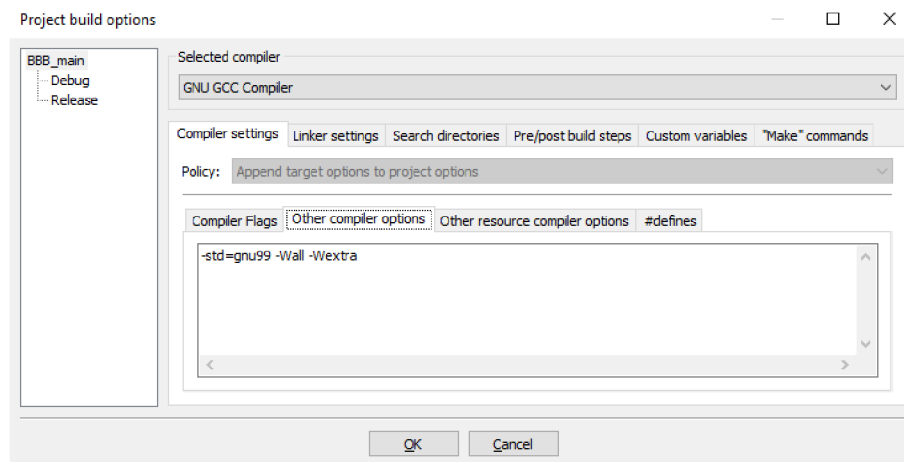
```

Veškerá konfigurace periferií a pinů je prováděna souborem hardware_init.sh, který lze upravovat příkazem „nano hardware_init.sh“.

6.2 Vývojová prostředí

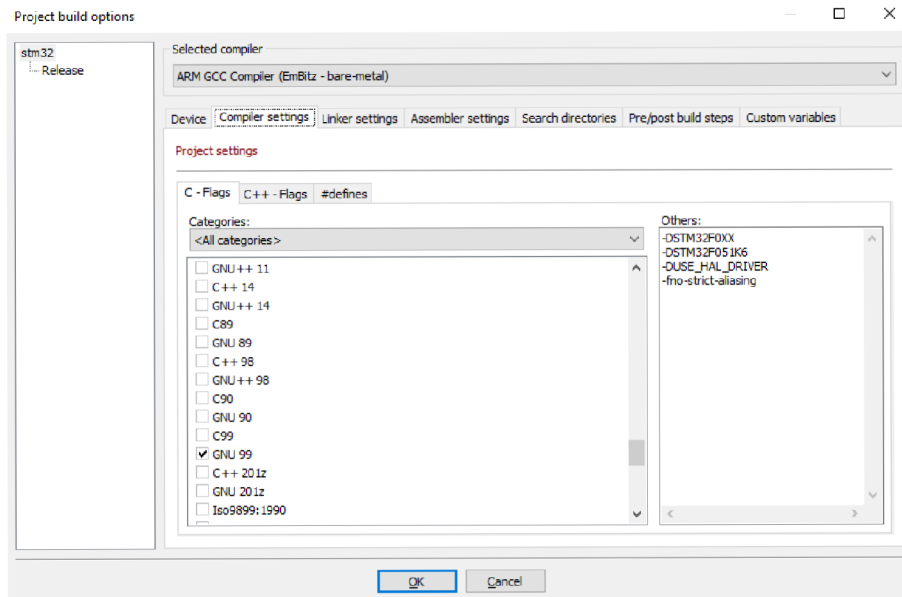
V této práci bylo třeba programovat tři zařízení. Prvním byl vývojový kit Beaglebone Black, který byl programován převážně v jazyce C, druhým zařízením byl mikrokontrolér STM32F051K6 jehož kód je taktéž v jazyce C a posledním zařízením byl počítač pro ovládání testů (respektive GUI aplikace na platformě Windows), kde je psán kód v jazyce C#.

Veškeré zdrojové kódy byly verzovány nástrojem git a ukládány na serveru gitlab.com. K programování BBB byl využit volně distribuovaný program Codeblocks. Tento program lze do zařízení nainstalovat terminálovým příkazem `sudo apt-get install codeblocks`. Po instalaci je vhodné spouštět toto vývojové prostředí opět z terminálu s veškerými právy příkazem `sudo codeblocks`. K programování je potřeba zvolit kompilátor GNU GCC s nastavením `-std=gnu99 -Wall -Wextra`, viz obrázek 6.1.

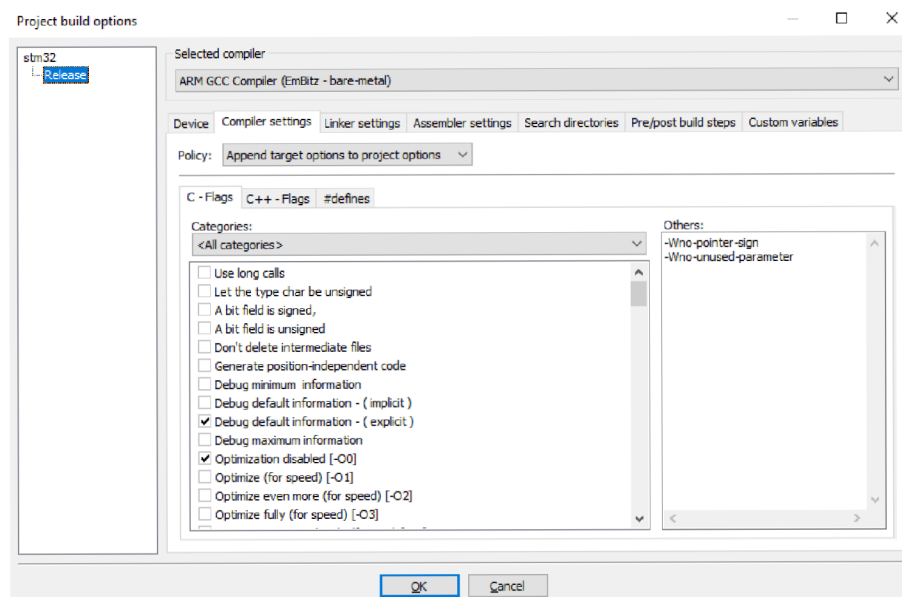


Obr. 6.1: Codeblocks - nastavení kompilátoru

Programování procesoru STM32F051K6 probíhalo ve vývojovém prostředí Em-Bitz. Projekt byl založen s kompilátorem ARM GCC, poté byly odstraněny vygenerované soubory a přidány definice symbolů pro používání HAL knihovny (STM32F0XX, STM32F051K6, USE_HAL_DRIVER), zvolen standart GNU99, některé varovné hlášení a zvolen linker skript STM32F051K6Tx_FLASH.ld (generovaný nástrojem STM32CubeMX). Nastavení je ukázáno na obrázcích 6.2 a 6.3.



Obr. 6.2: EmBitz - nastavení kompilátoru 1



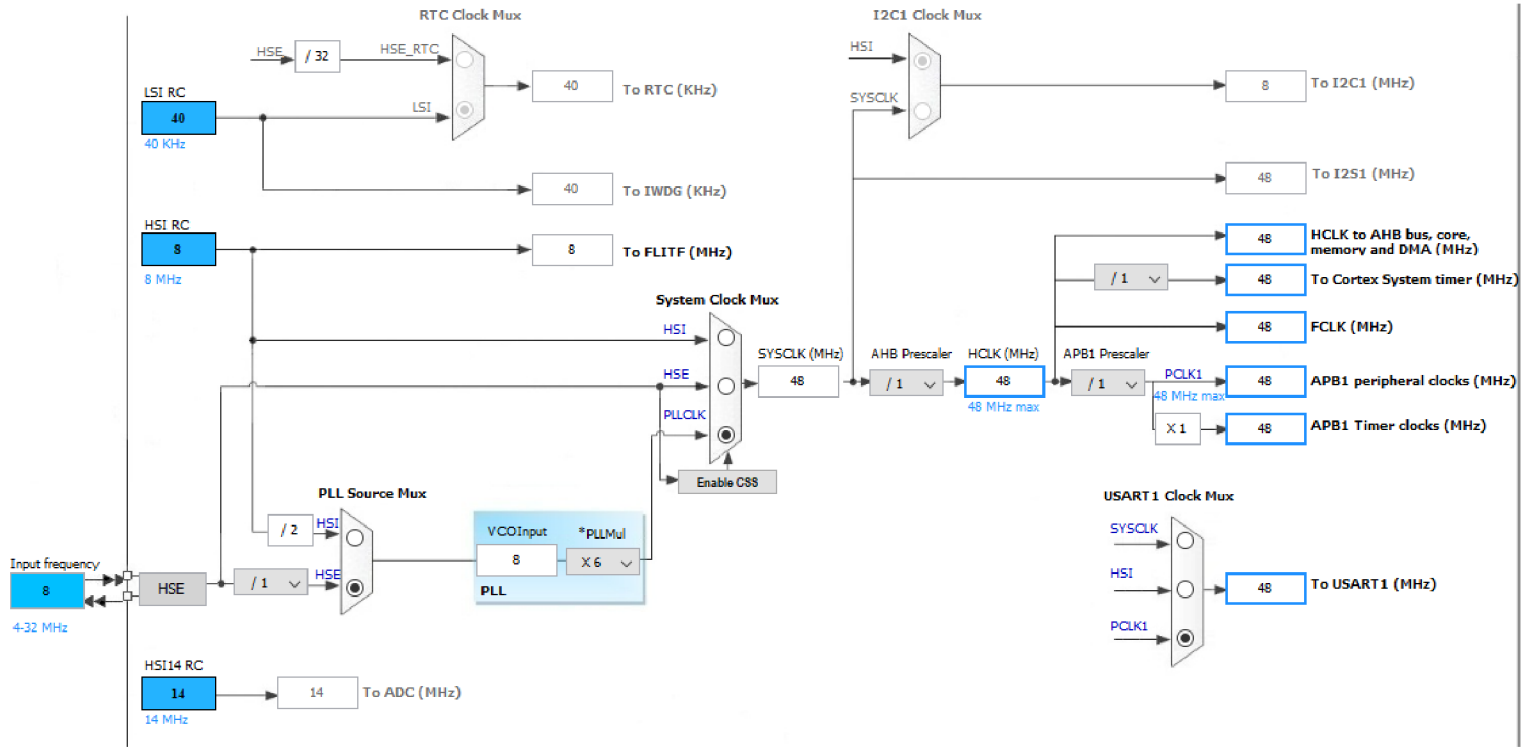
Obr. 6.3: EmBitz - nastavení kompilátoru 2

K vygenerování kódu pro ovládání periférií byl použit nástroj STM32CubeMX. Projekt byl založen pro mikrokontrolér STM32F051K6Tx. V záložce Pinout (viz obrázek 6.4) byly zapnuty následující periferie: DAC1 (D/A převodník na pinu PA4), RCC (nastavení hodinového signálu – HSE Crystal/Ceramic Resonator), SYS (Debug Serial Wire), TIM6 (první časovač pro generování signálů), TIM14 (druhý časovač pro generování signálů), USART1 (pro komunikaci s BBB - asynchronní mód) a všechny zbylé piny byly nastaveny jako výstupní. V záložce Clock Configuration (viz obrázek 6.5) byl přepnut PLL Source Mux (zdroj hodinového signálu pro smyčku fázového závěsu) na HSE (High Speed External) a změněna hodnota vstupního kmitočtu (krystalu) na 8 MHz. Hodiny systému, periférií a časovačů byly nastaveny na 48 MHz. Na záložce Configuration byl nastaven UART na rychlost 115200 Bd, 8 bitů, žádnou paritu, 1 stop bit a bylo povoleno jeho globální přerušení. Dále byl nastaven D/A převodník - zapnut výstupní buffer, nastaven trigger na časovač 6 a potvrzeno využitím DMA. Mód D/A převodníku je kruhový a používá poloviční velikost slova (16 bitů). Kód byl poté vygenerován s projektovým nastavením Toolchain/IDE = SW4STM32.

Importování vygenerovaných kódu do vývojového prostředí EmBitz se provádí přes nabídku Project>Add files recursively. V následujícím okně se vybere složka, kde se soubory nacházejí a v dalším kroku, kliknutím na tlačítko Wildcard select, se vyberou pouze soubory *.c;*.h;*.s (pouze soubory s C kódem a assemblerem). Po potvrzení je importování dokončeno, ale je třeba ještě zrušit komentář pro #define STM32F051x8 v souboru stm32f0xx.h.

Počítačová aplikace pro ovládání testů byla programována ve vývojovém prostředí Microsoft Visual Studio 2015. Pro GUI byl použit .NET Framework 4.5.

Obr. 6.5: STM32CubeMX - Clock Configuration



6.3 D/A převodník

Generování signálů probíhá na mikrokontroléru STM32F051K6T6, který obsahuje 12-bitový digitálně-analogový převodník s možností využití DMA. Výrobce udává maximální vzorkovací frekvenci 1MS/s. Tato frekvence je však platná pro změnu vstupní hodnoty o +1LSB. Pro velkou změnu vstupní hodnoty platí, že maximální frekvence je 0,25MS/s. Z této skutečnosti bylo odvozeno použití 16-ti vzorků sinusového průběhu ke generování nosného kmitočtu 44kHz test signálu 1 a 2. Vzorkovací frekvence pro tento signál se vypočítá vzorcem 6.1:

$$f_{vz} = f_c \cdot n = 44 \cdot 10^3 \cdot 16 = 704 \text{ kHz} \quad (6.1)$$

f_{vz} - vzorkovací frekvence [Hz]

f_c - nosný kmitočet [Hz]

n - počet vzorků [-]

K načítání vzorků do DAC je použit časovač 6 spolu s DMA. Ke všem časovačům je přiváděn hodinový signál 48MHz (nastaveno v STM32CubeMX). Ke generování signálu 704kHz je použita předdělička 1 (v kódu prescaler = předdělička -1 = 0) a hodnota porovnávacího registru (perioda) daná vzorcem 6.2:

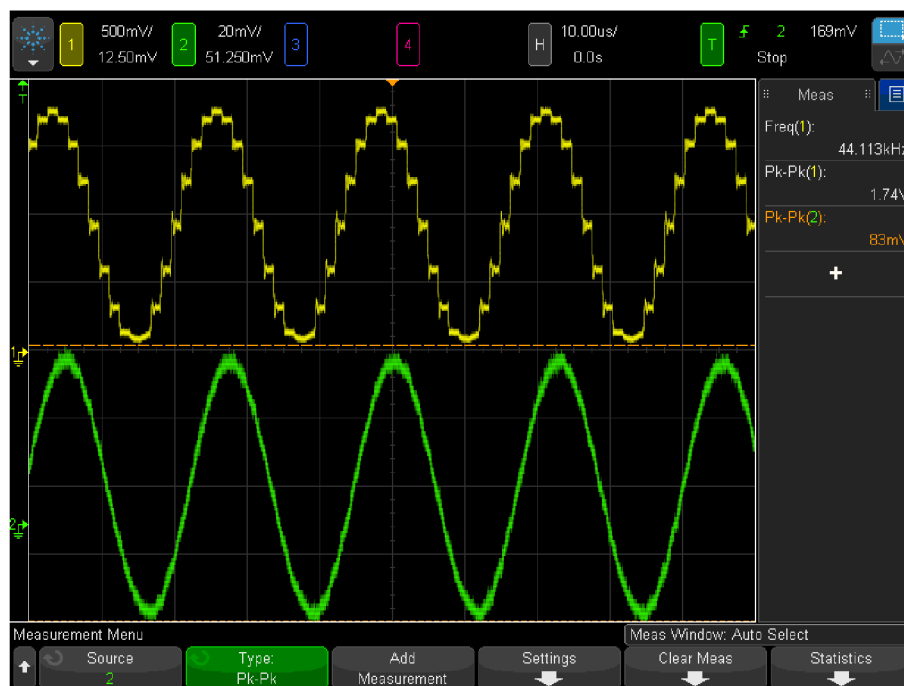
$$p = f_c \cdot n = \frac{f_{clk}}{f_{vz}} = \frac{48 \cdot 10^6}{704 \cdot 10^3} \doteq 67,18 \doteq 67 \quad (6.2)$$

p - perioda porovnávacího registru [-]

f_{clk} - hodinový kmitočet systému [Hz]

f_{vz} - vzorkovací frekvence [Hz]

Signál má poté průběh zobrazený na obrázku 6.6, kde žlutý průběh je výstup D/A převodníku a zelený je výstup filtru.

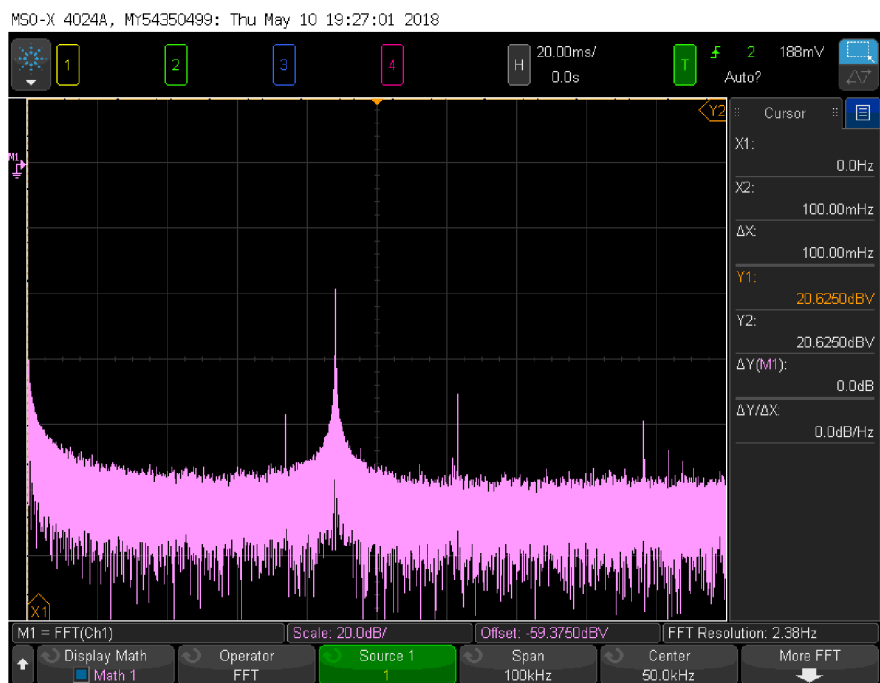


Obr. 6.6: Nosný kmitočet 44 kHz (žlutá - výstup DAC, zelená - výstup filtru)

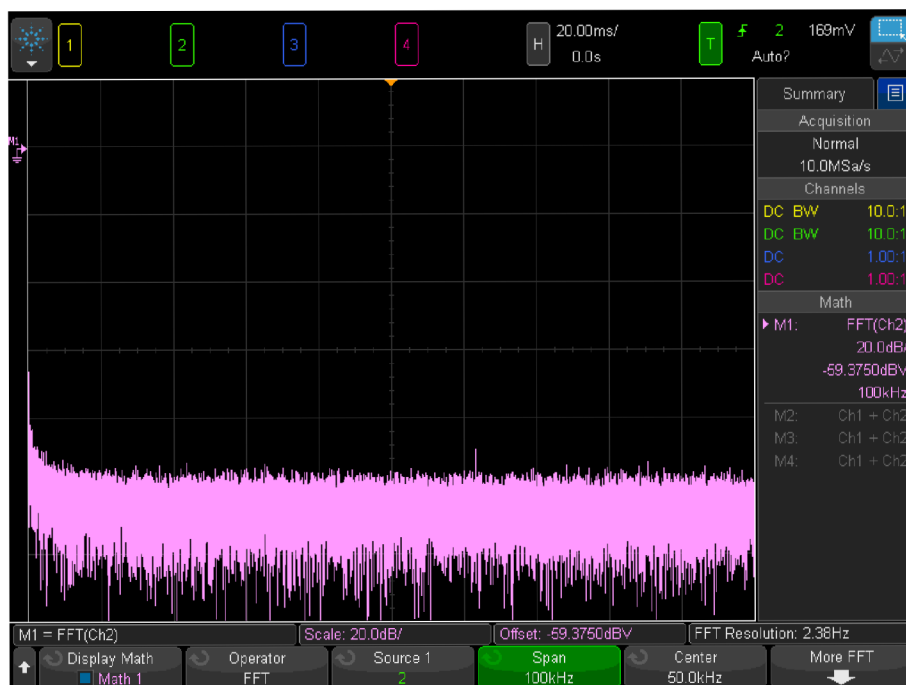
Pro test signály je dále potřeba modulační kmitočet o frekvencích 3 Hz a 10 Hz. Ke generování se využije časovač 14, jehož předdělička je 48000 (v kódu prescaler = 47999) a podle vzorce 6.2 se dopočítají odpovídající hodnoty porovnávacího registru, pro 3 Hz je to hodnota 167 a pro 10 Hz hodnota 50. Na obrázcích 6.7 a 6.8 je zobrazen časový průběh a spektrum Test signálu 2. Na časovém průběhu lze vidět projev kapacity filtru horní propusti, která se projevuje mírným zvlhčením modulační ON/OFF složky o frekvenci 10 Hz. Generování šumu je realizováno za pomoci standardní funkce rand() a vzorkovací frekvencí $f_{vz} = 240$ kHz (prescaler = 0, period = 200). Pomocí DMA jsou načítány do D/A převodníku hodnoty, které jsou náhodně generovány a ukládány do tohoto pole v hlavní smyčce programu. Na obrázku 6.9 je zobrazeno spektrum bez generování jakéhokoliv signálu a na obrázku 6.10 je zobrazeno spektru generovaného šumu.



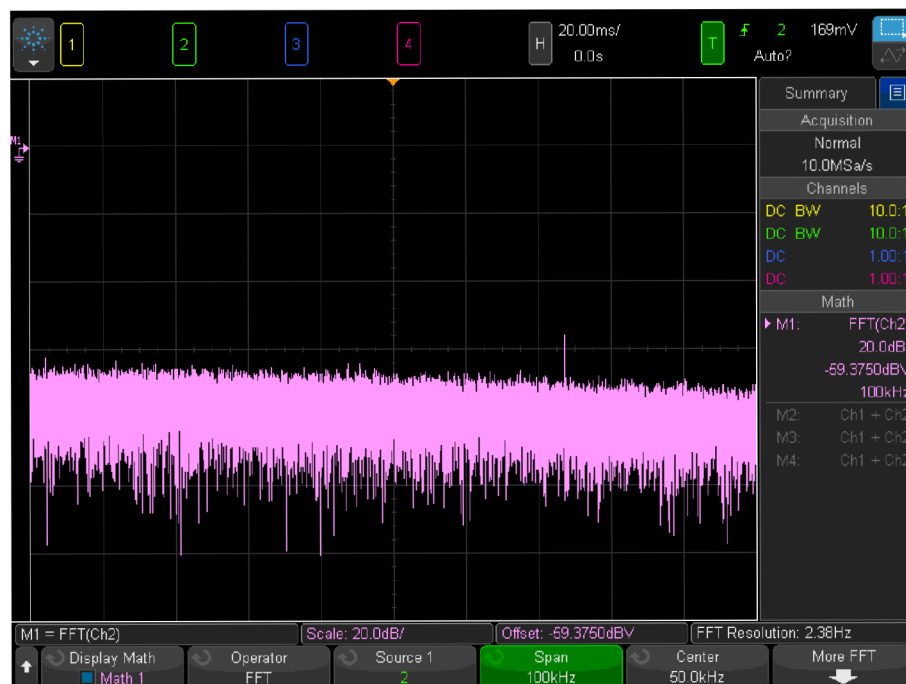
Obr. 6.7: Test signál 2 - časový průběh (žlutá - výstup DAC, zelená - výstup filtru)



Obr. 6.8: Test signál 2 - spektrum



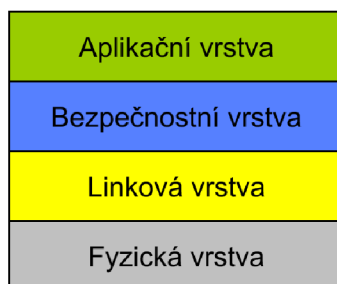
Obr. 6.9: Spektrum bez generování jakéhokoliv signálu



Obr. 6.10: Spektrum generovaného šumu

6.4 FP2 protokol (Fixed Platform Communication protocol)

FP2 je proprietární komunikační protokol firmy Honeywell. Protokol se skládá ze čtyř vrstev – aplikační, bezpečnostní, linkové a fyzické vrstvy. Bezpečnostní vrstva je volitelná a její přítomnost ve zprávě je dána verzí FP2 protokolu. Bezpečnostní vrstva v této práci není řešena.



Obr. 6.11: Vrstvy komunikačního protokolu FP2

6.4.1 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva je řešena pomocí sériového portu, jež může být například UART nebo RS-485. Nastavení těchto periférií je uvedeno v tabulce 6.2. Uvedená komunikační rychlost je pouze výchozí a lze ji dle potřeby aplikace zaměnit za jinou standardní komunikační rychlost (například 57600 Bd) .

Tab. 6.2: Nastavení periférií pro komunikační protokol FP2

Komunikační rychlost [Bd]	115200
Počet bitů dat v jednom rámci	8
Počet stop bitů	1
Parita	Žádná

6.4.2 Linková vrstva

Linková vrstva pracuje s uspořádáním paketu, zobrazeném na obrázku 6.12. Maximální délka paketu je 1500 B. Všechna data se odesílají ve formátu big endian. Paket začíná znakem Start Of Frame (SOF) s hodnotou 0x3C, dále je uvedena verze protokolu (VER) 0x02 (nezabezpečená zpráva), zdrojová (SRC) a cílová (DST) adresa, délka užitečných dat ve zprávě (LEN), samotná užitečná data (payload) za němiž

následuje 32-bitový cyklický kontrolní součet CRC (počítaný z VER, SRC, DST, LEN a užitečných dat) a na konci paketu je uvedený znak End Of Frame (EOF) s hodnotou 0x3E.



Obr. 6.12: Složení paketu komunikačního protokolu FP2

6.4.3 Aplikační vrstva

Aplikační vrstva naznačená na obrázku 6.13 se skládá z 16-ti bitového příkazu a 0 – 1487 B jeho dat. Příkaz může mít pouze tři podoby. První je žádost (master→slave) při které má příkaz hodnotu 0x0000 – 0x3FFF, druhá je potvrzení o úspěšném příkazu (slave→master) při které má příkaz hodnotu 0x8000 – 0xBFFF (neboli logický součet žádosti a masky 0x8000) a poslední je zpráva o neúspěšném příkazu (slave→master) při které má příkaz hodnotu 0xC000 – 0xFFFF (neboli logický součet žádosti a masky 0xC000). Zpráva o neúspěšném příkazu obsahuje vždy 1 B s informací, o jaký druh chyby se jedná viz tabulka 6.3.



Obr. 6.13: Uspořádání dat aplikační vrstvy protokolu FP2

Tab. 6.3: Možné chybové zprávy protokolu FP2

0x00	Systemová chyba
0x01	Neplatný příkaz
0x02	Neplatný argument
0x03	Čas operace vypršel
0x04	Přístup zakázán
0x05	Zdroj není k dispozici

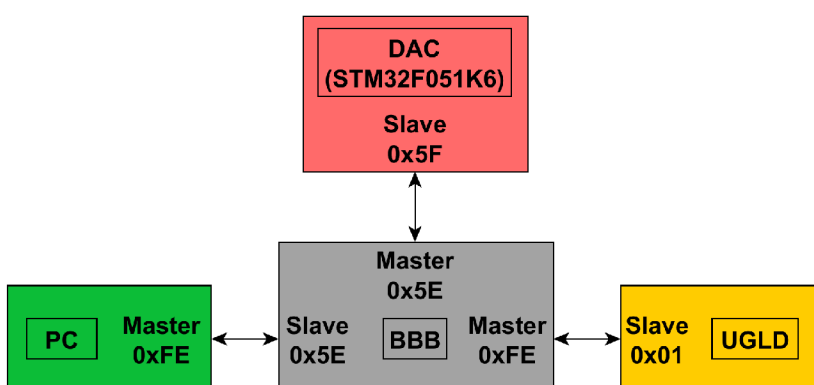
6.4.4 Adresy a směry komunikace

Na obrázku 6.14 jsou naznačeny možné směry komunikace mezi Beaglebonem Black, počítačem, D/A převodníkem a detektorem. Adresy přiřazené zařízením jsou vy-psané v tabulce 6.4.

Přístup k detektoru lze provádět pouze z adresy 0xFE (Factory Test mode). Při vývoji se používají různé počítačové aplikace zaměřující se každá na různou softwarovou část detektoru. Aby bylo možné tyto aplikace spouštět bez nutnosti přepojování převodníku RS-485 z BBB do PC, byla adresa 0xFE ponechána i počítačové aplikaci pro řízení testů. Z tohoto důvodu bylo však třeba přiřadit BBB jinou adresu (byla zvolena adresa 0x5E) a při přístupu k detektoru ji nahradit adresou Factory test módu. Při komunikaci aplikace (nejedná se o testovací aplikaci) s detektorem jsou její pakety vývojovým kitem přeposílány do detektoru a zpět (což navyšuje čas odezvy). Detektor a D/A převodník se chovají vždy pouze jako slave zařízení, pro které je BBB master. Počítač je poté master pro BBB.

Tab. 6.4: Přidělené adresy zařízením

Zařízení	Adresa	Zvláštní adresa
UGLD	0x01	-
BBB	0x5E	0xFE
DAC	0x5F	-
PC	0xFE	-



Obr. 6.14: Přidělené adresy a směry komunikace zařízením

6.5 GUI aplikace pro řízení testů

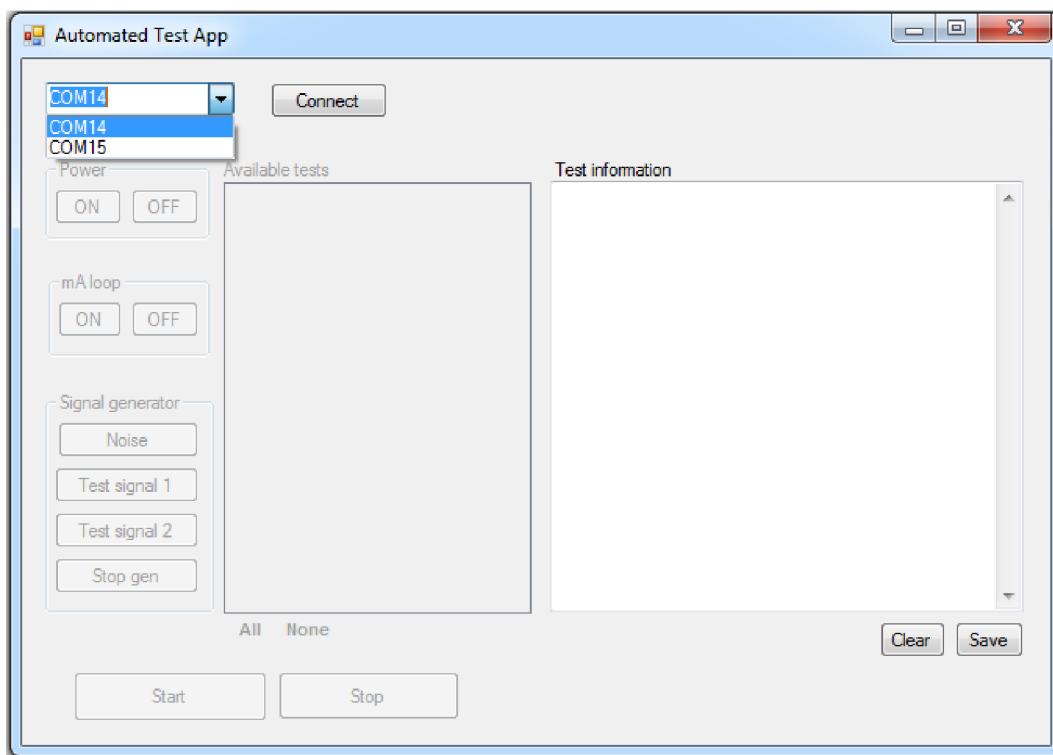
Ovládání testů jako je spouštění, zastavování a zobrazování chybových hlášek probíhá pomocí GUI aplikace v počítači (na systému Windows). Tato aplikace umožňuje přehledně vybírat, jaké testy mají být spuštěny a následně zobrazí jejich konečný stav (test byl úspěšný nebo neúspěšný). Na následujících obrázcích bude popsáno její ovládání.

Před spuštěním GUI aplikace je nutné připojit detektor k měřicímu přípravku všemi periferiemi (nejdůležitější je připojení převodníku RS-485) a připojit měřící přípravek k počítači pomocí převodníku USB/UART. Dále je nutné provést inicializaci hardwaru a spustit podpůrný software měřícího přípravku pomocí příkazů zobrazených ve výpisu 6.7 (toto lze provést připojením počítače ke client USB vývojového kitu nebo v grafickém prostředí operačního systému Debian).

Výpis 6.7: Zavedení ovladačů do systému

```
1 debian:~$ sudo su
2 [sudo] password for debian:
3 root:/home/debian:~$ ./Diplomova_prace/Software/beaglebone_black
   /hardware_init.sh
4 root:/home/debian:~$ ./Diplomova_prace/Software/beaglebone_black
   /bin/Debug/BBB_main
```

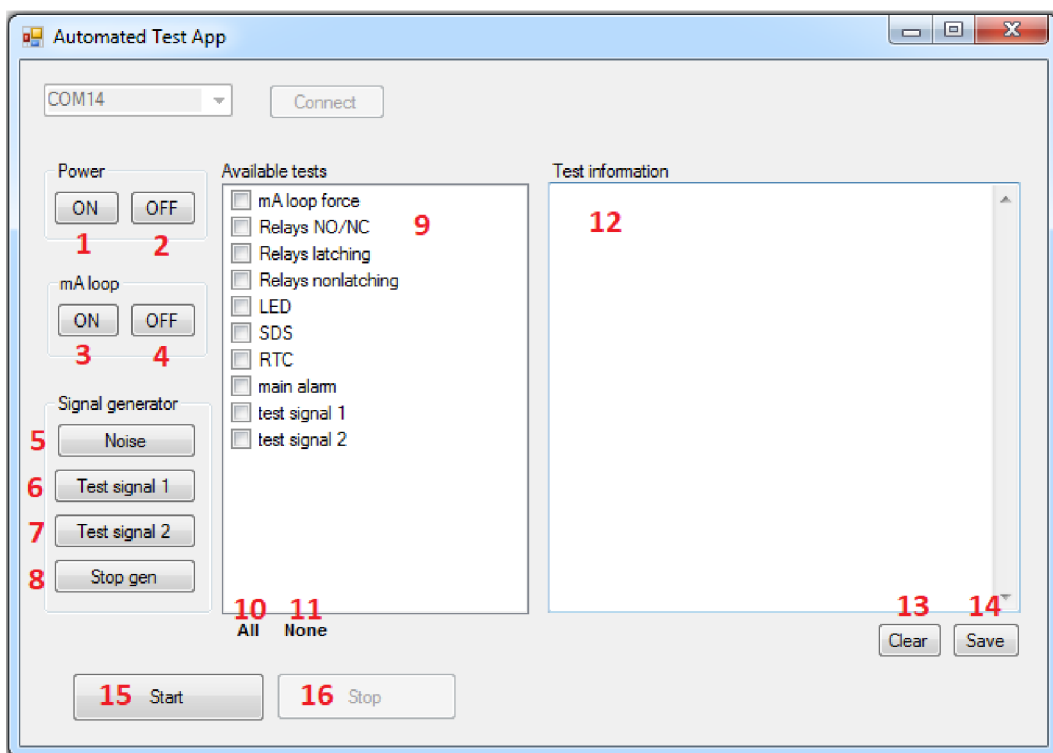
Po spuštění aplikace je třeba zvolit správný COM port, na kterém je pomocí převodníku USB/UART připojen Beaglebone Black, a kliknout na tlačítko Connect. Při této akci dojde k zapsání UTC času do kitu a zároveň se z něho stáhnou všechny dostupné testy, které se zobrazí v okně Available tests.



Obr. 6.15: GUI aplikace - připojení k vývojovému kitu

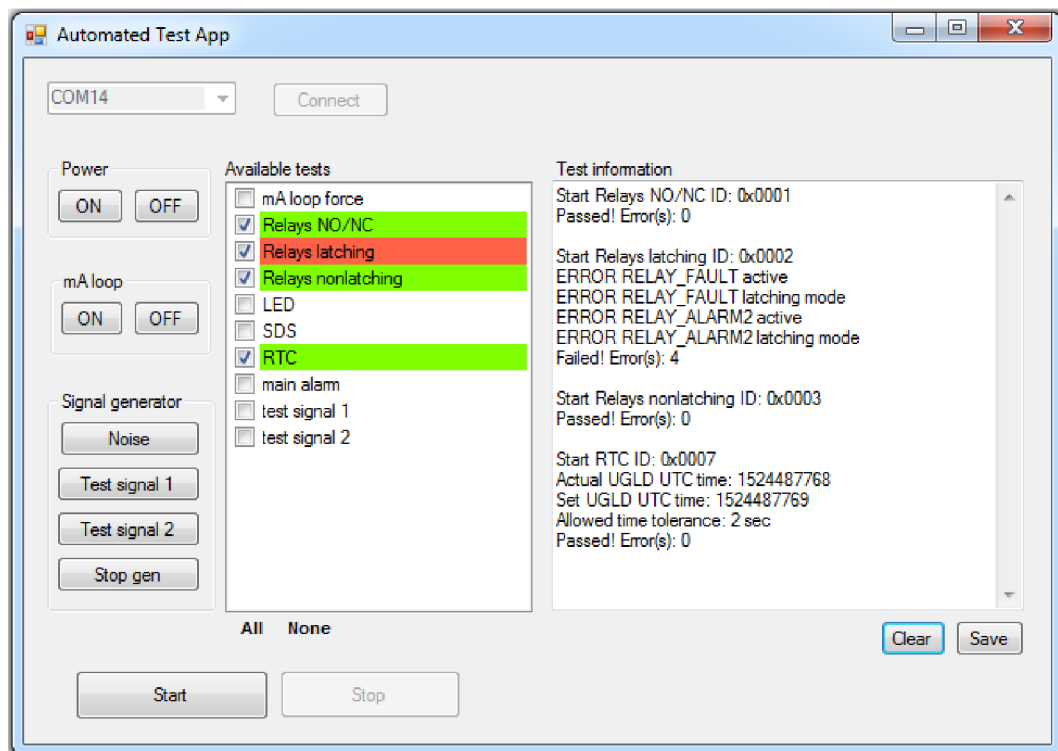
Po úspěšném předchozím kroku se uživateli zpřístupní ovládací panel (obrázek 6.16), jenž umožňuje:

- 1 – zapnutí napájení detektoru
- 2 – vypnutí napájení detektoru
- 3 – propojení mA smyčky
- 4 – rozpojení mA smyčky
- 5 – zapnutí generování šumu
- 6 – zapnutí generování Test signálu 1
- 7 – zapnutí generování Test signálu 2
- 8 – vypnutí generování signálů
- 9 – zobrazení a výběr testů
- 10 – výběr všech testů
- 11 – zrušit výběr testů
- 12 – zobrazení informací o testech
- 13 – vymazat informace o testech
- 14 – uložit informace o testech
- 15 – spustit testy
- 16 – zastavit test (tlačítko je zpřístupněno pouze během vykonávání testu)



Obr. 6.16: GUI aplikace - ovládací panel

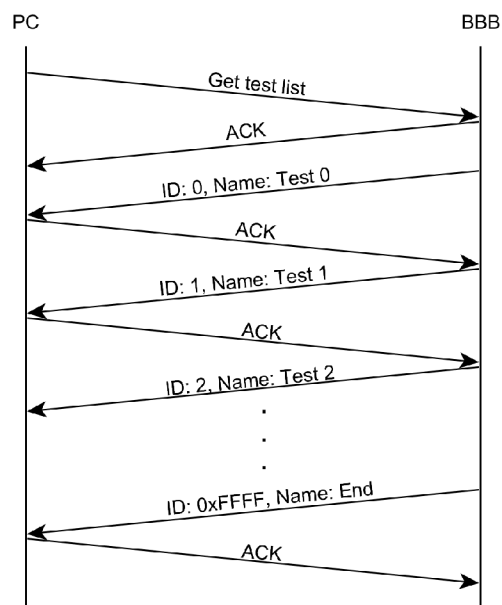
Po výběru testů se kliknutím na tlačítko Start začnou testy vykonávat a v okně Test information jsou zobrazovány aktuální informace. Po proběhnutí testu jsou všechny úspěšné testy znázorněny zelenou barvou a neúspěšné testy barvou červenou. Veškeré informace o testu (typ chyby a jejich počet) jsou vypsány v okně Test information. Toto hlášení lze uložit pomocí tlačítka save jako .txt soubor nebo vymazat pomocí tlačítka Clear (s vyskakovacím potvrzovacím oknem).



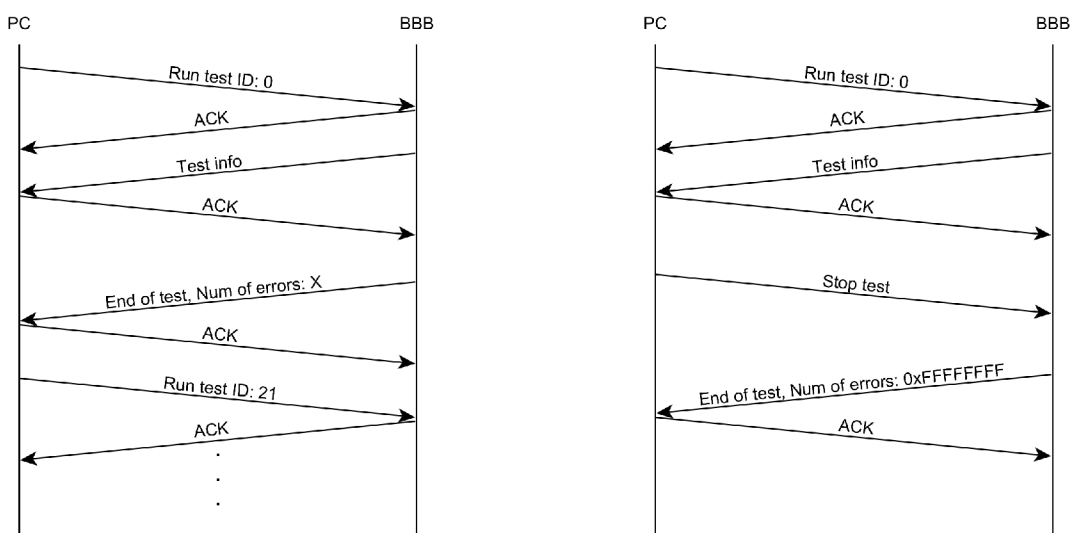
Obr. 6.17: GUI aplikace - zobrazení informací během/po testování

Ukázka komunikace při stažení test listu je zobrazena na obrázku 6.18. Počítač odešle paket s příkazem Get test list, vývojový kit tento příkaz potvrdí, začne odesílat ID a názvy testů (ID a název se odesílá pro každý test v jednom paketu) a počítač potvrzuje příjem každé této zprávy. Konec test listu je indikován odesláním paketu s ID 0xFFFF, jehož příjem počítač potvrdí a ukončí tím stahování test listu.

Na obrázku 6.19 jsou příklady komunikace při spouštění a zastavení testů. Na obrázku vlevo dojde ze strany počítače k odeslání paketu s příkazem Run test a ID 0 (které označuje příslušný test). Vývojový kit tento paket potvrdí a spustí test. Během testu může docházet k odesílání informací o testu jejichž příjem počítač potvrzuje. Nakonec je odeslán paket s příkazem End of test a číslem, které nese počet chyb, které se udály během testu. Po potvrzení paketu počítač spouští další test. Na obrázku vpravo došlo ke spuštění testu, ale uživatel chce test zastavit. Ze strany počítače je tedy odeslán paket s příkazem Stop test, který není potvrzován. K potvrzení dojde příjmem paketu s příkazem End of test a počtem chyb 0xFFFFFFFF (dekadicky 4294967295), které značí přinucené ukončení testu.



Obr. 6.18: Ukázka komunikace pro získávání test listu



Obr. 6.19: Ukázka komunikace během testu (vlevo bez vynuceného ukončení, vpravo s vynuceným ukončením testu)

6.6 Přidání nového testu a zásady jeho psaní

Všechny testy jsou psány jako kód v jazyce C, který se nachází v paměti vývojového kitu. Nový test je možné vytvořit do samostatného .c souboru nebo do již existujícího souboru, který odpovídá nějaké funkční části detektoru, například mA_loop_test.c v případě vytváření testu pro proudovou smyčku. Tyto soubory musí být zařazeny do složky tests. Nový test se dále vytváří funkcí vracející unsigned integer (u32), který nese počet chyb při testování. Funkce dále nemá žádné vstupní parametry.

Na začátku samotného testu je potřeba deklarovat proměnnou, která bude čítat počet chyb u32 u32_num_of_errors = 0; a na konci funkce se použije jako návratová hodnota této funkce. Pro samotné psaní testu se využívají ovladače detektoru ze složky UGLD drivers. Při zjištění chyby by se měli pomocí funkce test_manager_send_test_info() zaslat informace o chybě do počítače a zároveň je potřeba inkrementovat proměnnou s počtem chyb u32_num_of_errors++. K realizaci čekání je vhodné použít připravené makro delay_ms(), jehož vstupní hodnotou je unsigned integer (u32), reprezentující dobu čekání v milisekundách. Toto makro umožňuje během doby čekání číst sériovou linku pro případ nuceného zastavení testu ze strany počítače. Pokud je doručen paket se stop příkazem, dojde k okamžitému ukončení funkce s návratovou hodnotou 0xFFFFFFFF, která značí počítači, že test byl vynuceně zastaven. Pokud test nebyl vynuceně zastaven, je potřeba ještě před ukončením funkce (testu) uvést detektor do výchozího stavu, aby byl připraven pro další testování.

Jakmile je funkce testu hotová, zapíše se její prototyp do hlavičkového souboru tests.h ve složce tests. Poté je potřeba funkci přidělit ID, což se provede v souboru test_manager.h (složka src) formou definice (ID se nesmí opakovat s předchozími testy). Poslední kroky přidání testu se provádějí v souboru test_manager.c (složka src). Ve funkci test_manager_test_list() se vytvoří nová identifikační zpráva pomocí funkce test_manager_send_test_identifer() (umístěná před identifikátorem posledního testu), jejíž vstupními parametry jsou vytvořené ID (definice ze souboru test_manager.h) a název testu, který bude zobrazován v počítačové aplikaci. Název testu se nesmí shodovat s předchozími názvy. Nakonec se test připsá do funkce test_manager_run_test(), kde se vytvoří nový switch case s odpovídajícím ID a návratová hodnota nově vytvořeného testu se uloží do proměnné u32_error_ret.

6.7 Popis naprogramovaných testů

V této sekci budou stručně popsány vytvořené testy, které se nacházejí ve složce tests v projektových souborech vývojové desky Beaglebone Black.

Proudová smyčka

Soubor mA_loop_test.c

Test je založený na force funkcích detektoru, kde jsou postupně přepínány režimy stavů – FAULT, INHIBIT, WARNING, NORMAL_STATE, ALARM 1, ALARM 2 a OVERRANGE. Pro každý režim dojde k měření proudu a vyhodnocení správnosti jeho velikosti pro daný stav.

Relé

Soubor relays_test.c

Tento test je rozdělen do tří částí: Test NO/NC, relé se nejprve nastaví do módu NO (Normally Open), kde se testuje pomocí force funkcí zapnutí a vypnutí relé. Stejná kontrola se poté provede i pro nastavený mód NC (Normály Close). Druhá část se zabývá kontrolou latching módu, který se postupně zapíná a kontroluje pro force stavy FAULT, ALARM 1 a ALARM 2. Třetí část je podobná části dvě, pouze s rozdílem testování non-latching módu. Na konci všech testů je obnoveno výchozí nastavení.

LED

Soubor LED_test.c

Kontrolují se časové úseky svítící/nesvítící LED a její barva. Nastavování módů LED je zajištěno force funkcí pro LED, která nastavuje postupně stavy ALARM, OVERRANGE, FAULT, BLUETOOTH CONNECTING a BLUETOOTH CONNECTED. Po testu je LED přepnuta do normálního módu.

RTC

Soubor RTC_test.c

Nejprve dojde k zápisu času vývojového kitu do detektoru a po době 5 sekund je čas vyčten a porovnán s přípustnou tolerancí, dále test pokračuje vypnutím a zapnutím detektoru s následnou kontrolou času, kde se testem zjistí, zda RTC pracuje bez napájení detektoru správně, či jestli je funkční/přítomná vnitřní baterie.

SDS

Soubor SDS_test.c

Proběhne kontrola zapsání hodnoty do SDS s následným vypnutím a zapnutím detektoru. Test pokračuje zápisem a kontrolou hodnot mimo definovaný rozsah.

Alarmy

Soubor alarms_test.c

Test je rozdělen na testování alarmu, test signálu 1 a test signálu 2. První část se zabývá alarmem, který se spustí za pomoci generátoru šumu. Po tomto jsou kontrolovány relé pro Alarm 1 (mělo by být sepnuté), Alarm 2 (mělo by být rozepnuté) a proudová smyčka (velikost proudu odpovídá Alarmu 1). Dále se provede kontrola blikání LED a po uplynutí časového úseku 5 sekund jsou opět zkontrolovány relé pro Alarmy (obě relé mají být sepnuty) a proudová smyčka (velikost proudu odpovídá Alarmu 2). Nakonec je ještě jednou kontrolováno blikání indikační LED a poté je vypnut generátor šumu. Testování test signálu 1 a 2 je velmi podobné. Na začátku se zapne příslušný signál a dále je kontrolováno, že nedojde k sepnutí relé (pro oba alarmy), velikost proudu ve smyčce je 4 mA a že indikační LED správně bliká. Následuje čekací doba 5 sekund a poté proběhne kontrola znovu. Po skončení testu jsou signály vypnuty.

Teplotní senzory

Soubor temp_mon_test.c

K tomuto testu je nutné umístit teplotní senzor měřícího přípravku do detektoru. Při testu je z tohoto senzoru poté vyčtena teplota, která se porovnává s teplotami naměřenými detektorem a vyhodnocení je poté prováděno s přípustnou odchylkou (tolerancí). Po tomto měření je v detektoru změněna hodnota spodního limitu teploty na 150 °C, to zapříčiní nastavení varovných bitů v paměti detektoru, jejichž správnost nastavení se kontroluje. Toto se provede i pro nastavení horního limitu teploty na -60 °C. Nakonec jsou hodnoty opět přepsány na původní velikosti.

7 ZÁVĚR

V práci byl popsán princip ultrazvukového detektoru úniku plynu a představeny jeho části, které souvisejí s automatickým testováním. Dále byly představeny navržené principy a metody testování detektoru. Pro měřicí přípravek bylo srovnáváno několik vývojových desek, z nichž byla poté vybrána deska BeagleBone Black, která nejvíce splňovala nároky pro podporu navržených metod testování (počet sériových portů, GPIO pinů atd.). Deska musela být rozšířena o Bluetooth (řešeno USB Donglem), RS-485 (řešeno USB externím převodníkem) a D/A převodníkem, jenž je realizován mikrokontrolérem STM32F051K6T6 s příslušným filtrem. Pro měřicí přípravek byla navržena, popsána a naprogramována softwarová architektura. Dále byl čtenář seznámen s operačním systémem Debian, se kterým pracuje vývojová deska Beaglebone Black, potřebnými vývojovými prostředími pro programování a jejich nastavením. Byly ukázány výstupní signály pro generování šumu a test signálů. Dále byl popsán FP2 protokol, jehož realizace byla pro tuto práci stěžejní. Nakonec byla představena GUI aplikace pro řízení testů, popsán návod pro přidávání a psaní testů a představeny naprogramované testy.

Výstupem této práce je plně funkční systém umožňující provádět testy ultrazvukového detektoru úniku plynu, jehož řízení se provádí GUI aplikací v počítači. Systém umožňuje poměrně snadné přidávání, odebírání a psaní nových testů, což je pro tuto oblast klíčové. Navržená softwarová architektura navíc dovoluje realizovat snadný přechod k testování jiného detektoru. Nutno podotknout, že systém vyžaduje pro testování odpojit piezoelektrický snímací mikrofon detektoru, čímž nemohou být vykonávány plnohodnotné testy. Řešením tohoto problému by bylo generování potřebných signálů pomocí ultrazvukového reproduktoru. Navržené testovací metody pro topný obvod a z části i pro teplotní senzory nebyly realizovány z důvodu nemožnosti ovládat teplotní komoru měřícím přípravkem. Tyto testy by vyžadovali lidskou obsluhu, čímž by automatické testování postrádalo smysl. Testování periferie Bluetooth nebylo provedeno, protože vyžaduje bezpečnostní vrstvu FP2 protokolu, jejíž realizace by byla velmi časově náročná. Tato periferie je navíc primárně testována pomocí mobilního telefonu.

Provedením navržených testů se podařilo ověřit funkčnost daných částí detektoru a potvrdit některé vlastnosti detektoru, které nesplňují dané požadavky (například při hlavním alarmu musí být sepnuty obě relé ALARM1 i ALARM2, testem bylo zjištěno, že je sepnuto pouze relé ALARM2). Další možné testy, které by mohly být vykonávány tímto testovacím přípravkem jsou například testování protokolů HART a Modbus. Dále například test modulu pro zpracování a vyhodnocování signálu. Tento test by byl založený na generování signálů, které by simulovali například projíždějící auto nebo tlakování kompresoru, kdy by detektor neměl vyhlášovat alarm.

Možné vylepšení testovacího přípravku by bylo v přesunu testů do počítače a využívání vývojového kitu pouze k ovládání GPIO pinů a měření signálů. Toto by umožňovalo psát testy přímo v počítači, což může být mnohem pohodlnější. Jinou možností by bylo využívání kitu jako serveru, který by dovoval ovládat testy skrze internetový prohlížeč. Výhoda této realizace by byla v ovladatelnosti testovacího přípravku z internetového prohlížeče. V počítači by se tedy nemusela nacházet žádná GUI aplikace a řízení testů by mohlo být prováděno například i z mobilního telefonu.

LITERATURA

- [1] Honeywell. *GasBook* [online]. 2013 [cit. 11. 11. 2017]. Dostupné z URL:
<https://www.honeywellanalytics.com/~media/honeywell-analytics/documents/english/11296_gas-book_v5_0413_lr_en.pdf?la=en-gb>.
- [2] KADLEC, Karel. *Katalytické senzory a jejich aplikace v analýze plynů* [online]. EnggCyclopedia, 2011 [cit. 11. 11. 2017]. Dostupné z URL:
<<http://kuhv.vscht.cz/files/uzel/0017043/Katalytick%C3%A9%20senzory.pdf?redirected>>.
- [3] *How infrared gas detectors work* [online]. 2011 [cit. 11. 11. 2017]. Dostupné z URL:
<<http://www.enggyclopedia.com/2011/11/infrared-gas-detectors/>>.
- [4] *SCHADSSTOFFSENSOREN* [online]. City Technology, 2015 [cit. 11. 11. 2017]. Dostupné z URL:
<https://www.de.citytech.com/loader/frame_loader.asp?page=https://www.de.citytech.com/technology/toxic-sensors.asp>.
- [5] *About Ultrasonic Gas Leak Detectors* [online]. Emerson, c2017 [cit. 11. 11. 2017]. Dostupné z URL:
<<http://www.emerson.com/en-us/automation/measurement-instrumentation/flame-gas-detection/about-ultrasonic-gas-leak-detectors>>.
- [6] *ULTRASONIC GAS LEAK DETECTION TECHNOLOGY* [online]. Gassonic [cit. 11. 11. 2017]. Dostupné z URL:
<http://www.gassonic.com/technology/the_technology/>.
- [7] *Understanding Ultrasonic Gas Leak Detection* [online]. General Monitors, c2007 [cit. 11. 11. 2017]. Dostupné z URL:
<http://www.gmigasandflame.com/article_october2007.html>.
- [8] *Current loop* [online]. Wikipedia, 2017 [cit. 11. 11. 2017]. Dostupné z URL:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Current_loop>.
- [9] *RS 485 & 422* [online]. Redakce HW serveru, 1998 [cit. 11. 11. 2017]. Dostupné z URL:
<<https://vyvoj.hw.cz//teorie-a-praxe/dokumentace/rs-485-422.html>>.

- [10] STMicroelectronics *STM32F051x4, STM32F051x6, STM32F051x8 Datasheet* [online]. STMicroelectronics, 2017 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/55/53/3e/86/29/61/41/d9/DM00039193.pdf/files/DM00039193.pdf/jcr:content/translations/en.DM00039193.pdf>>.
- [11] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C*. Praha: [Středisko pro podporu studentů se specifickými potřebami ELSA ČVUT], 2015. ISBN 978-80-7232-383-8.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

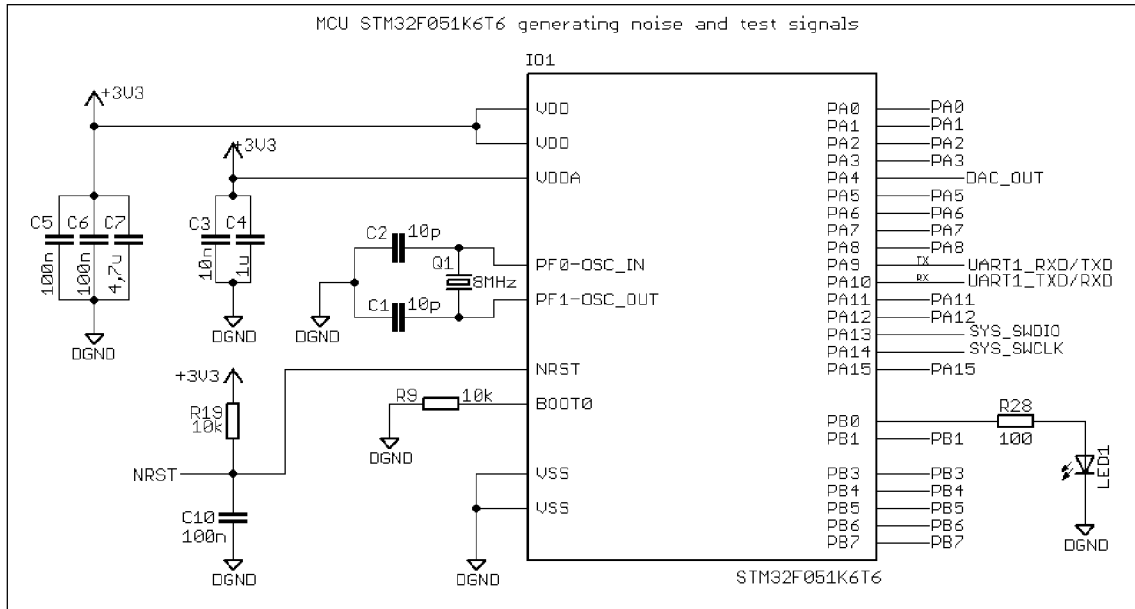
UGLD	Ultrazvukový detektor úniku plynu – Ultrasound Gas Leak Detector
BBB	Beaglebone Black
DAC	Digitálně–analogový převodník
UEL	Horní mez výbušnosti – Upper Explosive Limit
LEL	Dolní mez výbušnosti – Lower Explosive Limit
NC	Normálně sepnuto – Normally Close
NO	Normálně rozepnuto – Normally Open
RTC	Hodiny reálného času – Real Time Clock
FP2	Název komunikačního protokolu
TS1	Test signál 1
TS2	Test signál 2
SDS	Úložiště dat v detektoru – System Data Store
GUI	Grafické uživatelské rozhraní – Graphical User Interface
DTS	Deklarativní popis konfigurace hardwaru pro Linux - Device Tree

SEZNAM PŘÍLOH

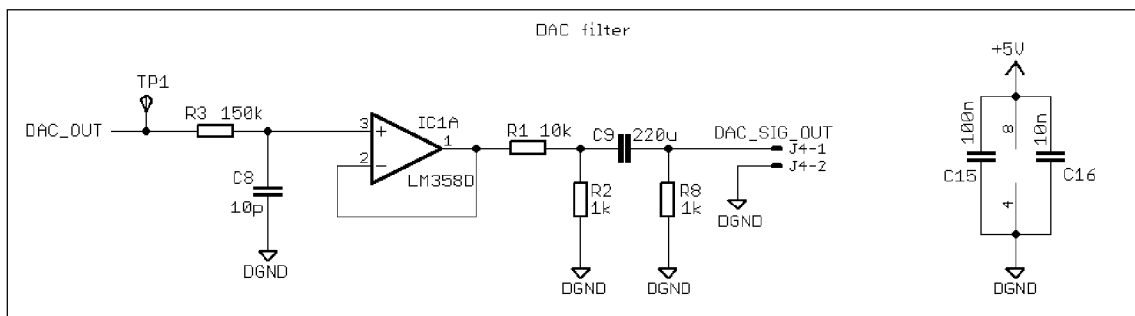
A	Rozšiřující deska pro BeagleBone Black	65
A.1	Schéma zapojení	65
A.2	Deska plošných spojů	68
A.3	Seznam součástek	70
A.4	Vyrobené desky	71

A ROZŠIŘUJÍCÍ DESKA PRO BEAGLEBONE BLACK

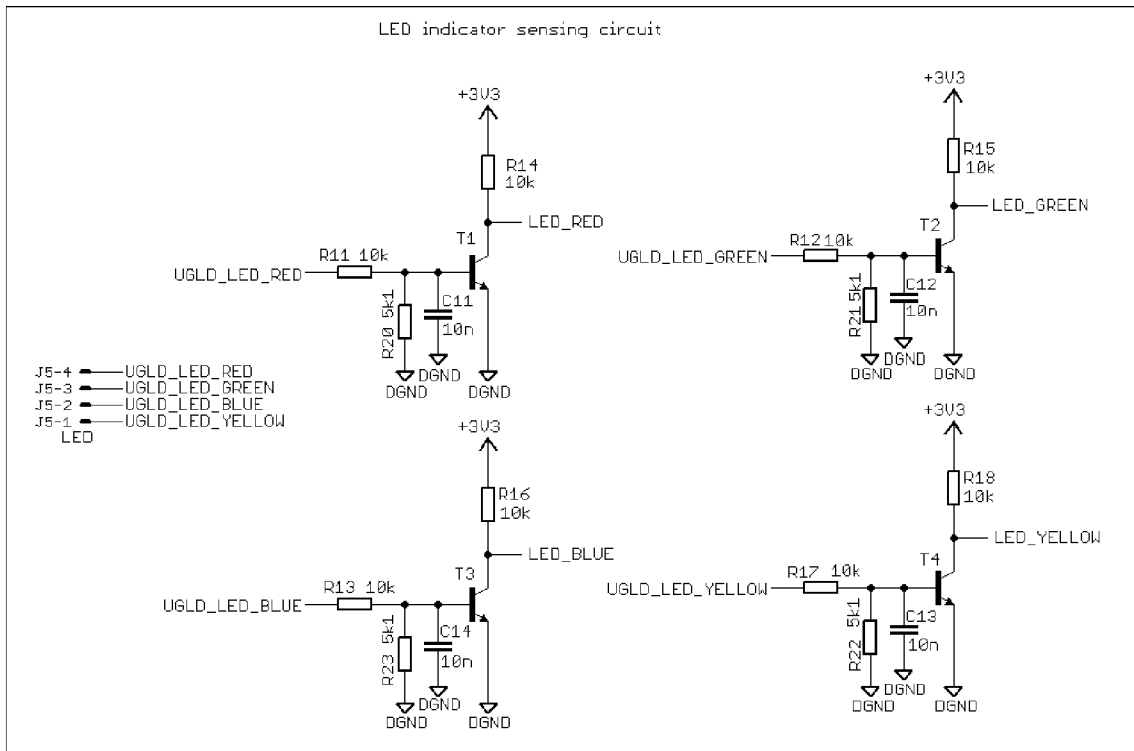
A.1 Schéma zapojení



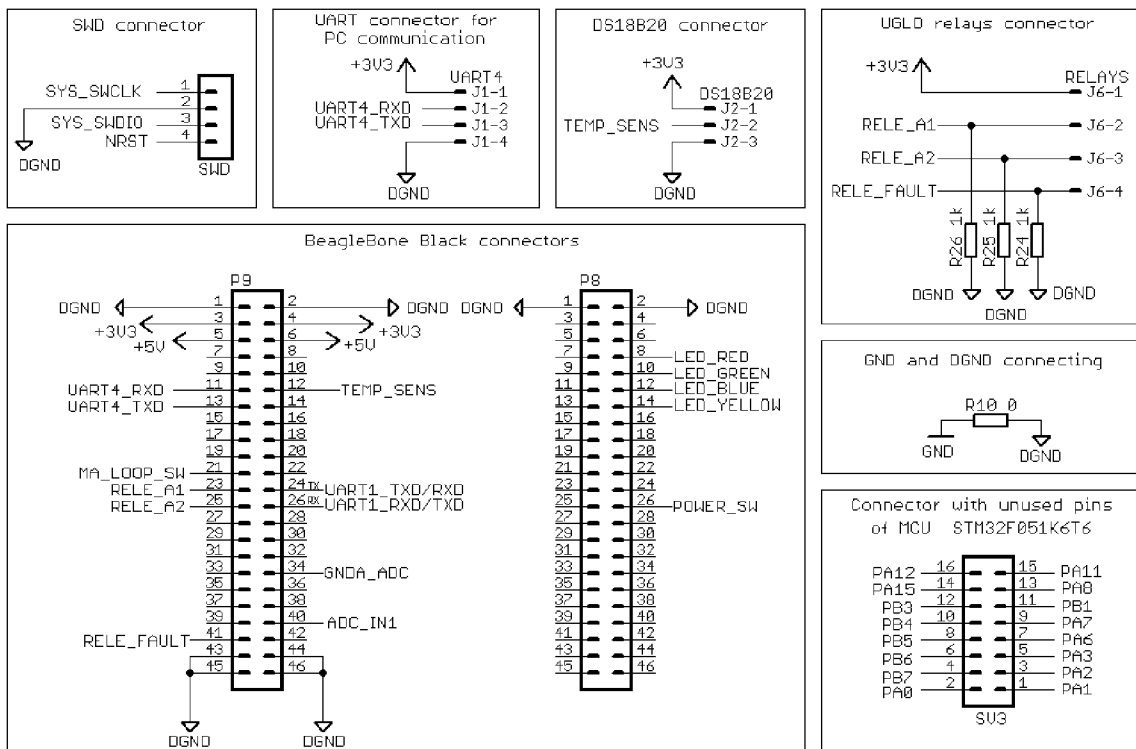
Obr. A.1: Obvod mikrokontroléru STM32F051K6T6



Obr. A.2: Filtr D/A převodníku mikrokontroléru STM32F051K6T6



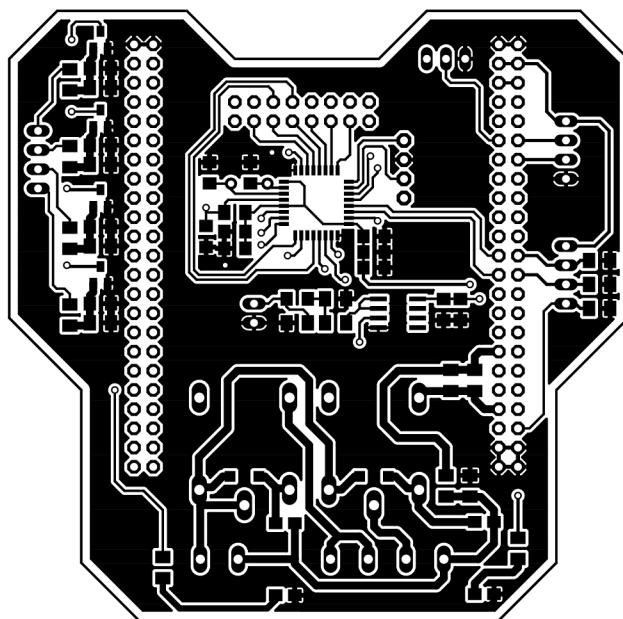
Obr. A.5: Obvod pro snímání barvy LED



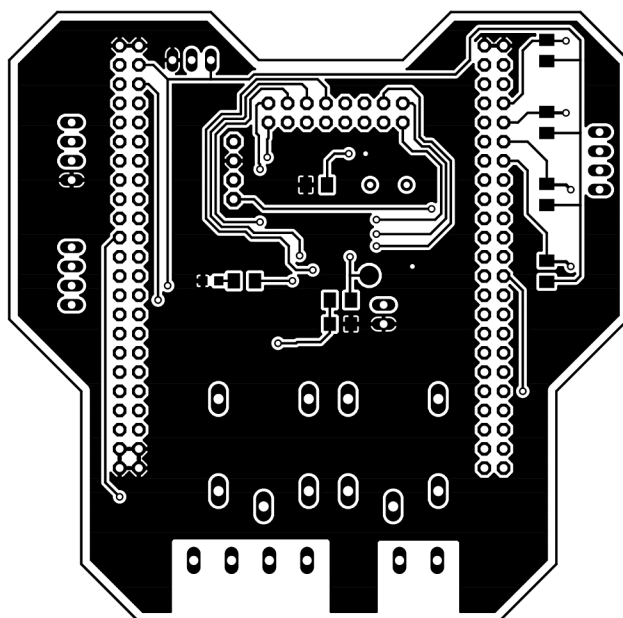
Obr. A.6: Konektory rozšiřující desky a propojení GND

A.2 Deska plošných spojů

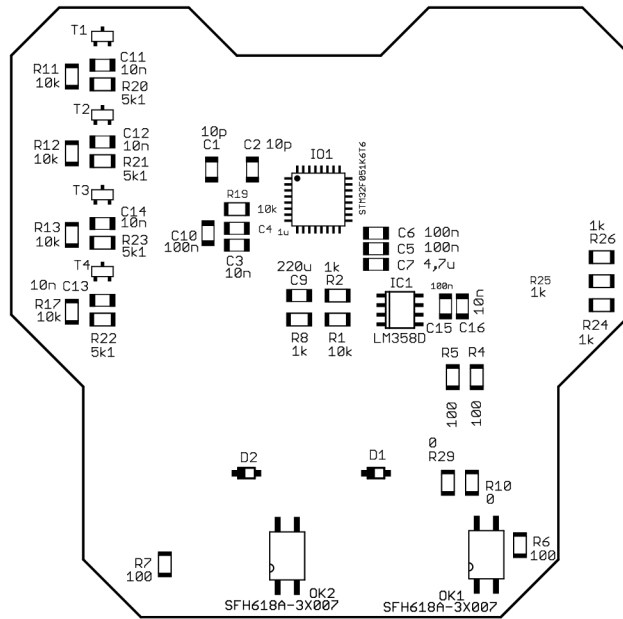
Rozměr desky: 82 x 81 [mm]



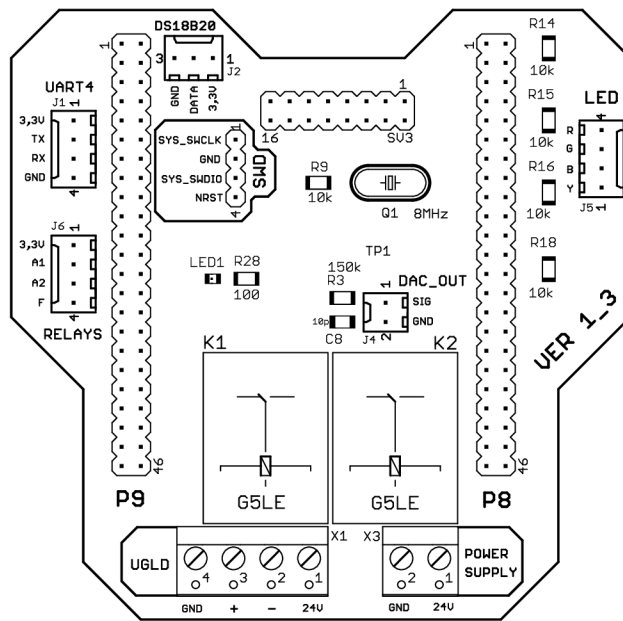
Obr. A.7: Plošný spoj Bottom (měřítko 1:1)



Obr. A.8: Plošný spoj Top (měřítko 1:1)



Obr. A.9: Osazovací plán Bottom



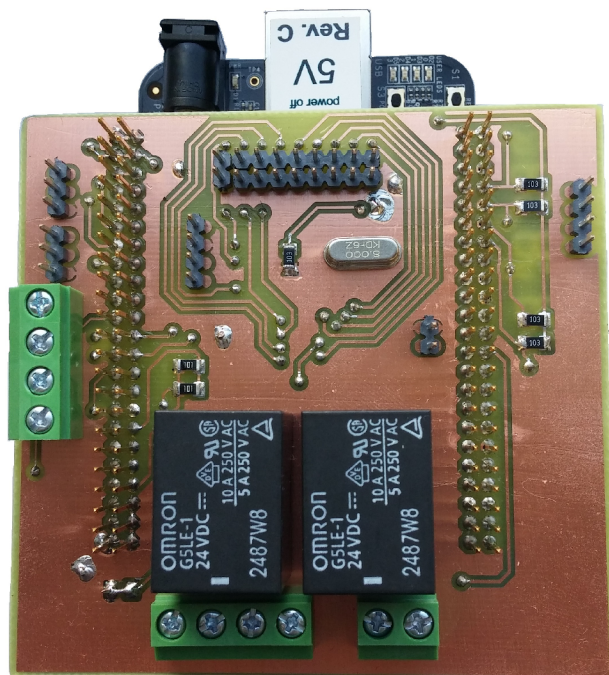
Obr. A.10: Osazovací plán Top

A.3 Seznam součástek

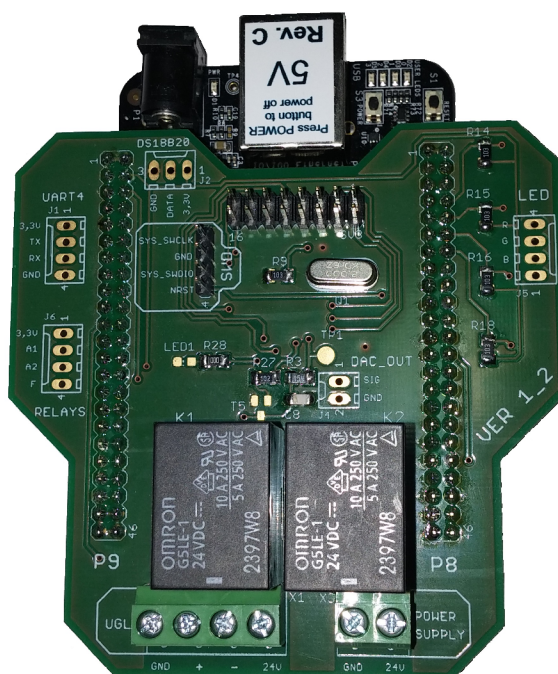
Tab. A.1: seznam součástek

ks	Hodnota	Označení	Popis
11	10k	R1, R9, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19	R-EU_M1206
2	0	R10, R29	R-EU_M1206
5	1k	R2, R8, R24, R25, R26	R-EU_M1206
4	5k1	R20, R21, R22, R23	R-EU_M1206
5	100	R4, R5, R6, R7, R28	R-EU_M1206
1	150k	R3	R-EU_M1206
1	1u	C4	C-EUC1206
1	4,7u	C7	C-EUC1206
6	10n	C3, C11, C12, C13, C14, C16	C-EUC1206
3	10p	C1, C2, C8	C-EUC1206
4	100n	C5, C6, C10, C15	C-EUC1206
1	220u	C9	C-EUC1206
4	BC817-40	T1, T2, T3, T4	
2	DIODE-SOD123	D1, D2	
1	LED1	LED0805 RED	
1	8MHz	Q1	CRYSTALHC49U-V
2	G5LE	K1, K2	G5LE relay
1	LM358D	IC1	LM358D
2	SFH618A-3X007	OK1, OK2	SFH618A-3X007
1	STM32F051K6T6	IO1	STM32F051K6T6
1	TPSB2,54	TP1	TPSB2,54 testpoint
1	UART4	J1	22-27-2041-04 connector
1		SWD	MA04-1 connector
1		SV3	MA08-2 connector
2		P8, P9	MA23-2 connector
1		X1	W237-4 connector
1		X3	W237-102 connector
1	DAC_SIG_OUT	J4	22-27-2021-02 connector
1	DS18B20	J2	22-27-2031-03 connector
1	LED	J5	22-27-2041-04 connector
1	RELAYS	J6	22-27-2041-04 connector

A.4 Vyrobené desky



Obr. A.11: Prototypová deska verze 1_0



Obr. A.12: Prototypová deska verze 1_2