

Diplomová práce

Bc. Marek Makový



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONŮ)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek Makový**

Osobní číslo: **A15440**

Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Informační technologie**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vývoj komponent čerpacího stojanu**

Téma anglicky: **The Development of Fuel-Dispenser Components**

Zásady pro vypracování:

1. **Prostudujte metody měření průtoku různých typů paliva, které jsou vhodné pro čerpací stojany.**
2. **Analyzujte funkční a nefunkční požadavky zadavatele na komponenty pro měření průtoky paliva a jeho teploty.**
3. **Navrhněte SW architekturu pro firmware těchto komponent.**
4. **Pro funkční vzorek HW komponent implementujte firmware, tj. všechny potřebné SW funkce.**
5. **Otestujte funkci komponent při čerpání paliva v reálných podmínkách.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. YIU, J. **The Definitive Guide to ARM[®] Cortex[®]-M0 and Cortex-M0+ Processors**. 2nd Edition. San Diego, United States: Elsevier Science Publishing Co, 2015. ISBN 9780128032770.
2. SLOSS, A., D. SYMES a Ch. WRIGHT. **ARM System Developers Guide**. Elsevier, 2004. ISBN 1-55860-874-5.
3. VALVANO, J. W. **Embedded Systems: Real-Time Interfacing to Arm Cortex-M Microcontrollers**. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2011. ISBN 978-1463590154.
4. VALVANO, J. W. **Embedded Systems: Introduction to ARM Cortex-M Microcontrollers**. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013. ISBN 978-1477508992.
5. VALVANO, J. W. **Embedded Systems: Real-Time Operating Systems for the ARM Cortex-M Microcontrollers**. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2012. ISBN 978-1466468863.
6. SEAL, D. **ARM Architecture Reference Manual**. Addison-Wesley, 2001. ISBN 978-0201737196.
7. SLOSS, A., D. SYMES a C. WRIGHT. **ARM System Developers Guide**. Morgan Kaufmann, 2004. ISBN 978-1558608740.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Dulík, Ph.D.

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání diplomové práce:

3. února 2017


Termín odevzdání diplomové práce:

16. května 2017

Ve Zlíně dne 3. února 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D.
ředitel ústavu

Jméno, příjmení: Marek, Makový

Název diplomové práce: Vývoj komponent čerpacího stojanu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 15.5.2017

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Hlavním cílem této práce je implementace FW pro impulsér a ATC snímač pro novou řadu stojanů čerpací stanice.

První kapitola popisuje používané způsoby měření průtoku paliva, druhá kapitola se zabývá analýzou požadavků zadavatele a třetí kapitola popisuje obvod AS5050, který byl použit v impulséru jako převodník natočení.

Poté bylo možno provést návrh SW architektury a implementovat požadovanou funkcionalitu. Čtvrtá kapitola popisuje význačné části implementace.

Firmware pro obě jednotky byl implementován v požadovaném rozsahu.

Klíčová slova: STM32, stojan čerpací stanice, měření průtoku, měření objemu, měření teploty, ATC.

ABSTRACT

Main goal of this thesis is to implement FW for flow meter's pulse counter and ATC sensor for a new line of fuel dispensers.

First chapter analyzes existing principles of measuring flow, second chapter analyzes customer's requirements and third chapter describes integrated circuit AS5050, which is used as impulser's rotary encoder.

After that we were able to design SW architecture for the dispenser and implement required functionality. Fourth chapter describes significant parts of implementation.

Firmware for both units was implemented in desired range.

Keywords: STM32, fuel dispenser, flow measuring, volume measuring, temperature measuring, ATC.

Poděkování patří Ing. Tomáši Dulíkovi, Ph.D. za odborné vedení mé práce.

OBSAH

ABSTRAKT	5
ABSTRACT	5
ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 MĚŘENÍ PRŮTOKU PALIVA	11
1.1 PRŮTOKOMĚRY OBJEMOVÉ.....	11
1.1.1 Průtokoměry turbínkové.....	11
1.1.2 Průtokoměr s ozubenými koly.....	12
1.1.3 Pístové průtokoměry.....	13
1.2 HMOTNOSTNÍ PRŮTOKOMĚRY.....	14
1.2.1 Průtokoměry využívající Coriolisovy síly.....	14
2 ANALÝZA POŽADAVKŮ	17
2.1 SPOLEČNÉ POŽADAVKY.....	17
2.1.1 Legislativní požadavky.....	17
2.1.2 Modularita systému.....	17
2.1.3 Sériové číslo zařízení.....	17
2.1.4 Typ zařízení.....	17
2.1.5 Kalibrace.....	17
2.1.6 Heartbeat.....	17
2.1.7 Flash paměť.....	18
2.1.8 Watchdog.....	18
2.1.9 Verze FW.....	18
2.1.10 Připojení k PC.....	18
2.2 IMPULSÉR.....	18
2.2.1 Detekce kladného pootočení.....	20
2.2.2 Detekce záporného pootočení.....	20
2.2.3 Mezní hodnota záporného pootočení.....	20
2.2.4 Snímací prvek.....	20
2.2.5 Konstanta.....	21
2.2.6 Kalibrace.....	21
2.2.7 Měření průtoku.....	21
2.3 SNÍMAČ ATC.....	21
2.3.1 Měření teploty.....	22
2.3.2 Konstanty.....	22
2.3.3 Senzor.....	23
3 OBVOD AS5050	24
3.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE.....	24
3.2 KOMUNIKACE S AS5050.....	26
3.2.1 Hlášení chyb.....	26
3.2.2 SPI komunikace.....	27

3.2.3	Umístění magnetu.....	28
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	30
4	SW ARCHITEKTURA.....	31
4.1	ŘÍDÍCI JEDNOTKA.....	31
4.2	KOMUNIKAČNÍ KNIHOVNA.....	31
5	IMPLEMENTACE FIRMWARE.....	32
5.1	SPOLEČNÉ VLASTNOSTI.....	32
5.2	PROPOJENÍ KOMPONENT.....	32
5.2.1	Obecné registry.....	33
5.3	POUŽITÝ PROCESOR.....	33
5.4	CUBEMX.....	34
5.5	KALIBRACE.....	35
5.6	WATCHDOG.....	35
5.7	CAN PROBE MONITOR.....	36
5.8	IMPULSÉR.....	38
5.8.1	Využití pinů.....	39
5.8.2	Registry impulséru.....	40
5.8.3	Vyhodnocení detekce kladného otočením.....	41
5.8.4	Vyhodnocení detekce záporného otočení.....	43
5.8.5	Ošetření přechodu přes nulu.....	45
5.8.6	Výpočet konstanty.....	45
5.8.7	Hlídaní maximálního povoleného průtoku.....	46
5.9	SNÍMAČ ATC.....	46
5.9.1	Využití pinů.....	46
5.9.2	Registry snímače ATC.....	48
5.9.3	Postup měření kalibračních koeficientů.....	48
6	TESTOVÁNÍ FUNKCE KOMPONENT.....	50
6.1	IMPULSÉR.....	50
6.2	SNÍMAČ ATC.....	50
	ZÁVĚR.....	51
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	52
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	56
	SEZNAM TABULEK.....	57

ÚVOD

Společnost Adast Systems, a. s. vyvíjí, vyrábí a dodává technologie a zařízení pro čerpání, měření a výdej kapalných a plyných paliv. Za účelem modernizace nabízených čerpacích stojanů se rozhodla inovovat svou nabídku. Implementace nových funkcí do stávajících řešení se nejevila jako vhodné řešení, a proto vznikl požadavek na zcela novou produktovou řadu. Ta by měla eliminovat nevýhody původní řady a přinášet nové funkce, jako třeba placení kartou na samoobslužné stanici.

Vývojem nových stojanů byla pověřena firma RayService s.r.o. ve spolupráci s Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně. Pro nové stojany je potřeba navrhnout kompletně nový hardware a software, je tedy potřeba navrhnout vhodnou HW a SW architekturu, navrhnout HW jednotlivých komponent a napsat pro ně firmware.

Součástí práce je analýza požadavků na nový stojan ze strany zadavatele a nastudování dané problematiky a dokumentace.

Tato diplomová práce tvoří část projektu vývoje nových stojanů. Jejím hlavním cílem je implementace firmware pro dva měřicí členy – impulsér a snímač automatické teplotní kompenzace. Dalším cílem projektu je návrh softwarové architektury systému a zmapování aktuálně používaných metod měření průtoku paliva pro použití ve stojanech čerpací stanice. Také bude pravděpodobně nutné naprogramovat SW aplikaci pro testování vyvinutých zařízení.

Vytvořený firmware pro impulsér a snímač teplotní kompenzace by měly být podroben zkoušce v reálných podmínkách za účelem ověření, zda splňují všechny požadované funkce s žádanou přesností.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MĚŘENÍ PRŮTOKU PALIVA

1.1 Průtokoměry objemové

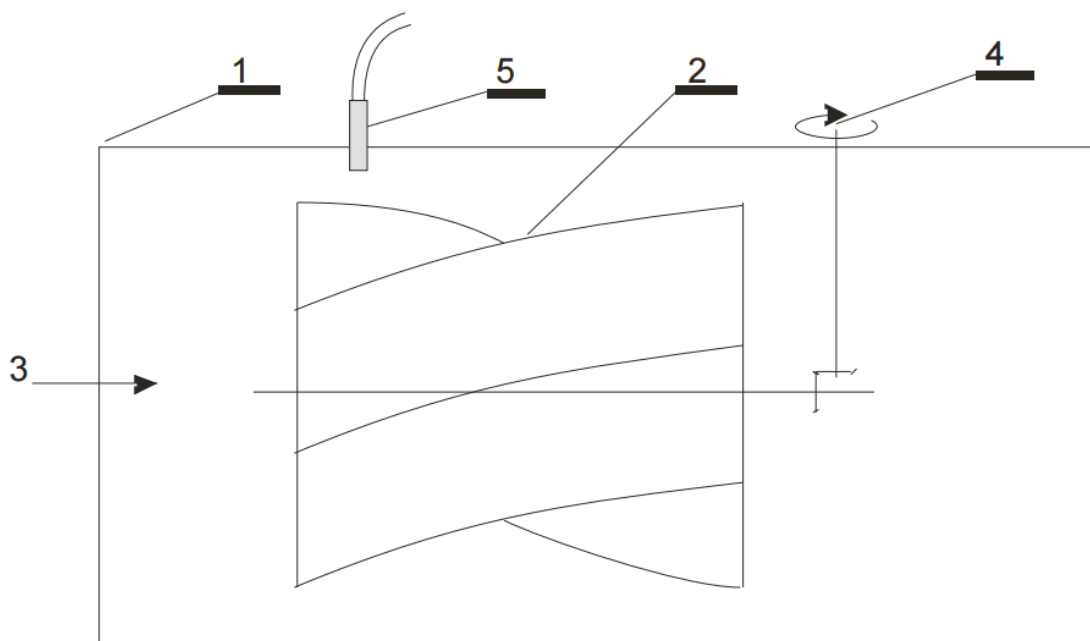
Objemové měřicí metody řadíme mezi absolutní měřicí metody. Vykazují dostatečnou přesnost měření a udávají celkové množství tekutiny protečené průtokoměrem. Pro určování okamžitého průtoku je nutno použít časoměrné zařízení nebo výpočet. [8]

Objemové průtokoměry mohou mít konstrukční uspořádání: bubnové, pístové, rotační, lopatkové, s oválnými koly a s ozubenými koly. [8]

Jelikož objem plynu je funkcí teploty a tlaku, je mnohdy vhodné doplnit měření objemu také o měření teploty a tlaku.

1.1.1 Průtokoměry turbínkové

Provozní poměry u turbínkového průtokoměru vychází z Eulerovy rovnice pro turbínu. Proudění měřené tekutiny otáčí turbínkovým kolem úměrně rychlosti proudění. V současné praxi se používají konstrukce: Voltmannův průtokoměr pro kapaliny a turbínkový průtokoměr pro kapaliny a pro plyny. Jejich použití je jednak ve vodorovné nebo ve svislé poloze. [8]



Obr. 1. Schéma turbínkového průtokoměru [8]

V tělese (1) se na ložiskách otáčí oběžné kolo ve tvaru šroubovice (2) pod vlivem rychlosti proudění tekutiny (3). Turbínka je mechanicky nebo magneticky spojena s mechanismem počítadla vývodem (4). Pro dálkové měření je použit snímač otáček (5). Průtokoměr se používá pro čistou, neagresivní vodu do teploty 130 °C. Dosahuje se třídy přesnosti 1, v oblasti malých průtoků až 5. [8]

Pro plynné média má turbínkový průtokoměr na vstupu zúžení pro zrychlení toku a vytvoření náporového momentu. Pro kapaliny má stejnou světlost a používá se do viskozity $1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (100cSt). Tlaková ztráta je desítky kPa. Minimální průtok je od 5 % rozsahu průtoků. Průtokoměry pro dálkové měření mají induktivní, optický, kontaktní aj. snímač otáčení turbínkového kola. Výstupní impulzy jsou zesíleny a převedeny na unifikovaný impulsní a nebo analogový signál průtoků a případně sumovány na údaj objemového množství. [8]

Turbínkové průtokoměry jsou použitelné pro měření nafty a benzínu. [18][19]

1.1.2 Průtokoměr s ozubenými koly

Ve skříní jsou uložena dvě standardní ozubená kola a proud kapaliny její objem přenáší na protější strany na výstup. Mezi jednotlivými zuby je objem vyplněn kapalinou a počet těchto objemů je celkové dávkování. Tyto průtokoměry jsou určeny pro čisté a viskózní kapaliny v rozsahu $3 \cdot 10^{-7}$ až $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (0.3 až 2000 cSt). Tlaková ztráta je závislá na viskozitě. Dosahuje se přesnosti třídy 0,6. Vyrábí se ve velikosti světlosti 10 až 400 mm. Snímání otáčení oválných kol je bezdotykové induktivní nebo fotoelektrické snímačem (4). V návazném vyhodnocovacím přístroji se převádí impulzy na unifikovaný impulsní nebo analogový signál průtoků a podle požadavku se provádí integrace impulsů na údaj množství.

Konstrukce těchto průtokoměrů vyžaduje kvalitní uložení rotačních kol, aby odolávaly vysokým provozním tlakům. Průtokoměry mají dále omezení dané teplotou měřeného média (do 150 °C), tlakovou ztrátou v měřicím potrubí, pasivními odpory rotoru. Třída přesnosti je u speciálním provedení až 0,16. Oválná kola mohou mít různé modifikace tvarů ozubení.



Obr. 2. Průtokoměr s ozubenými koly [16]

Průtokoměry s ozubenými koly jsou použity ve stojanech firmy Tecalemit pro výdej nfty. [17]

1.1.3 Pístové průtokoměry

Pístová měřidla patří mezi nejpřesnější přístroje pro měření proteklého množství kapalin. Měřenou kapalinou se střídavě naplňují a vyprazdňují odměrné prostory vymezené pístem a tělesem měřidla. Vlivem tlakového spádu na měřidle dochází k pohybu pístu, který je spojen s počítadlem. [20]

Běžně se užívá dvou i více odměrných prostorů, jejichž funkce je svázána tak, aby byl zajištěn plynulý chod měřidla i nepřerušovaný průtok média. Některé konstrukce užívají dvojčinného válce s pístem, který vykonává přímočarý vratný pohyb. Pístní tyč pak ovládá šoupátkový rozvod a počítadlo. Dále se užívá pístů vykonávajících točivý nebo krouživý pohyb. Pístová měřidla jsou vhodná pro měření i velmi viskózních kapalin. [20]

Ve většině současných výdejních stojanů čerpacích stanic je použit čtyřpístový objemový měřič průtoku s integrovaným magnetickým převodníkem na pulzní signál. Tyto měřiče pracují na principu naplňování a vyprazdňování nádob, ve kterých se vlivem tlaku pohybují písty. Mají tedy velkou tlakovou ztrátu a opotřebovávají se. [21]

Pístové průtokoměry jsou použity ve stojanech vyráběných firmou Adast Systems, a.s. a mnohých dalších.

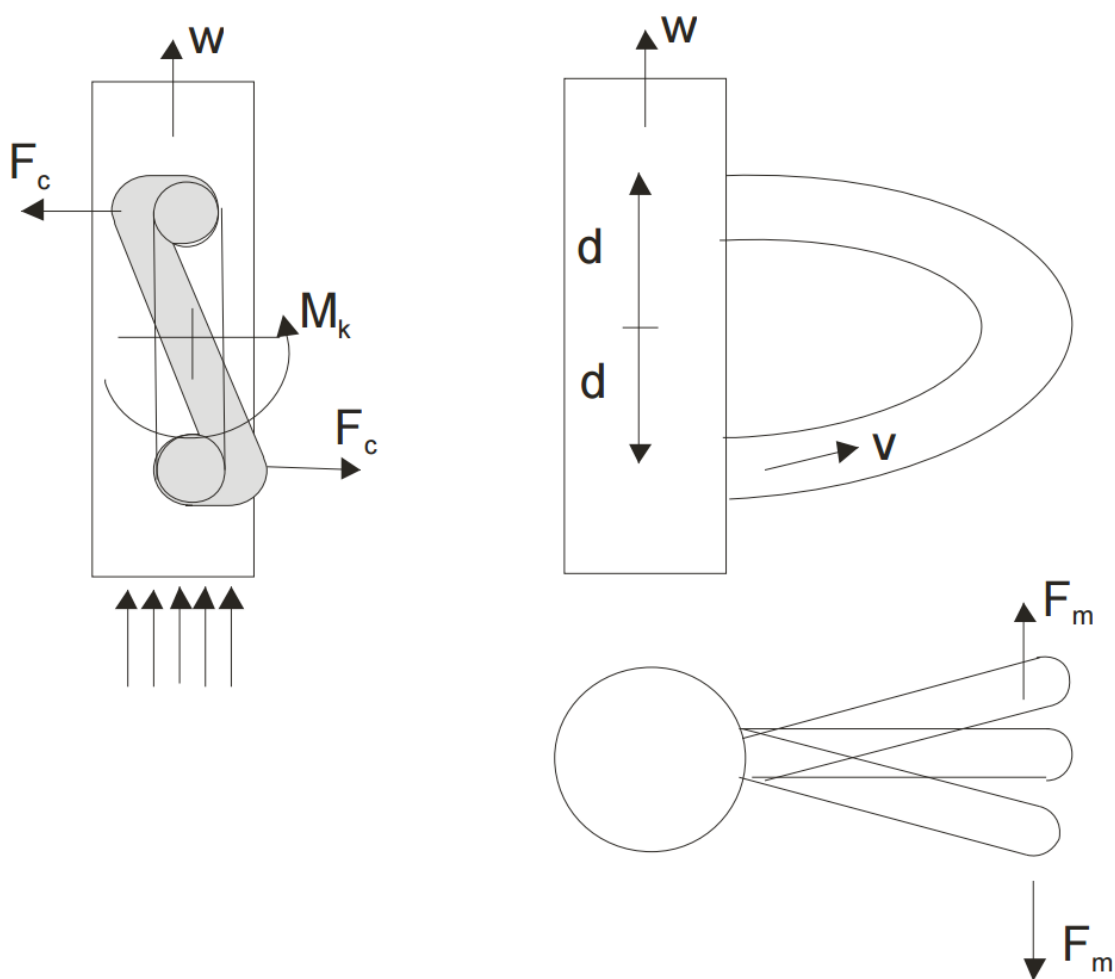


Obr. 3. Pístový průtočný měřič M 403.25P [21]

1.2 Hmotnostní průtokoměry

1.2.1 Průtokoměry využívající Coriolisovy síly

Coriolisova síla pro element tekutiny je dána vektorovým součinem vektoru rychlosti toku „v“ a vektoru úhlové rychlosti „w“. Její směr je kolmý na rovinu obor vektorů. Konstrukce průtokoměrů je řešena tak, že se uvažuje s kroutícím momentem od Coriolisovy síly na délce ramene. [8]



Obr. 4. Schéma Coriolisova průtokoměru [8]

Příklad řešení průtokoměru s trubicí tvaru U předkládá Obrázek 4. Měřená tekutina proudí trubicí o rychlosti „ v “. Trubice kmitá na rezonanční frekvenci s úhlovou rychlostí „ w “ v ose hlavního potrubí vlivem vnější síly F_m . Coriolisova síla vzniká v ramenech trubice a působí na trubici momentem M_k a vyvolá natočení trubice. Tento moment působí proti kmitání. Změny kmitání trubice jsou mírou změn krouťacího momentu, tj. mírou průtoku. [8]

Skutečný průtokoměr je konstrukčně řešen tak, že kapalina je vedena dvěma trubicemi tvaru U se dvěma ohyby. Výchylky na každém ohybu se snímají snímači zrychlení. Průtok se vyhodnocuje jako posuv fáze změn a převádí se na unifikovaný analogový signál. Kompensace vnějšího chvění se provádí diferenčním zapojením dvou trubic. [8]

Na výsledky měření nemá vliv teplota a tlak, viskozita, vodivost, rychlostní profil. Umožňují měřit tekutiny, které mají složité reologické vlastnosti, např. kaly, tekutý asfalt. Hlavní vliv má pouze rychlost proudění a hustota. Číslicové vyhodnocování umožní dosahovat přesnosti až 0.15 %. Dosavadním omezením je pouze rozsah teploty média, která může být

od -50 do $+200^{\circ}\text{C}$. Pro běžné používání musí ještě konstruktéři dořešit problémy [8]:

- údržba a čištění kmitajících trubic,
- omezení pracovních teplot,
- vliv kmitavého namáhání
- citlivost na vnější vibrace.



Obr. 5. Coriolisův průtokoměr [15]

Současným trendem je nahrazování průtokoměrů, které v sobě mají mechanicky pohyblivé části. Snahou je tedy nahradit objemový pístový průtokoměr průtokoměrem hmotnostním Coriolisovým. Coriolisovy průtokoměry jsou zatím ještě poměrně drahé, ale vývoj pokračuje, nacházejí čím dál větší uplatnění. Díky univerzálnosti a dobrým vlastnostem se oblast jejich použití rozšiřuje. Vysoká přesnost a dlouhá životnost musí zaručit, aby se použití těchto průtokoměrů vyplatilo. [21]

Coriolisovy průtokoměry jsou použity např. ve stojanech firmy Tatsuno pro výdej CNG. [23]

2 ANALÝZA POŽADAVKŮ

2.1 Společné požadavky

2.1.1 Legislativní požadavky

Navržená zařízení musí vyhovovat legislativním požadavkům o posuzování shody měřidel při jejich dodávání na trh popsáním v nařízení vlády č. 96/2017 Sb.

2.1.2 Modularita systému

System musí být modulární. Pomocí vytvořených komponent bude možné jejich kombinováním vytvářet různé varianty čerpacích stojanů.

2.1.3 Sériové číslo zařízení

Každé zařízení musí mít v rámci daného typu zařízení unikátní sériové číslo. Toto sériové číslo bude uloženo ve flash paměti zařízení v odpovídajícím registru. K přidělení čísla dojde při programování zařízení a nebude možné jej později změnit.

2.1.4 Typ zařízení

Každé zařízení bude disponovat registrem nesoucím informaci, o jaký typ zařízení se jedná.

2.1.5 Kalibrace

Zařízení vyžadují kalibraci. Ta musí být provedena ve výrobě a v omezené míře může být provedena znova později. Nutnou podmínkou pro vstup do kalibračního režimu je fyzický přístup k zařízení. Toho je docíleno umístěním dvoupolohového přepínače, který v jedné ze svých poloh znamená běžný provoz zařízení, ve druhé poloze aktivuje kalibrační režim. Kalibrační koeficienty budou uloženy ve flash paměti zařízení.

2.1.6 Heartbeat

Každé zařízení musí posílat tzv. heartbeat. Jde o prostředek, kterým dané zařízení dává najevo svému okolí svou přítomnost a správný chod. Interval vysílání HB je nastavitelný odpovídajícím registrem.

2.1.7 Flash paměť

Každé zařízení obsahuje hodnoty, které je potřeba uchovávat. K tomu slouží struktury nazývané registry. Hodnoty registrů jsou ukládány do flash paměti procesoru daného zařízení.

2.1.8 Watchdog

Zařízení musí využívat watchdog, který v případě zacyklení nebo jiné neočekávané události provede reset zařízení.

2.1.9 Verze FW

Každé zařízení musí obsahovat informaci o verzi svého firmware a poskytnout ji řídicí jednotce, pokud o to požádá.

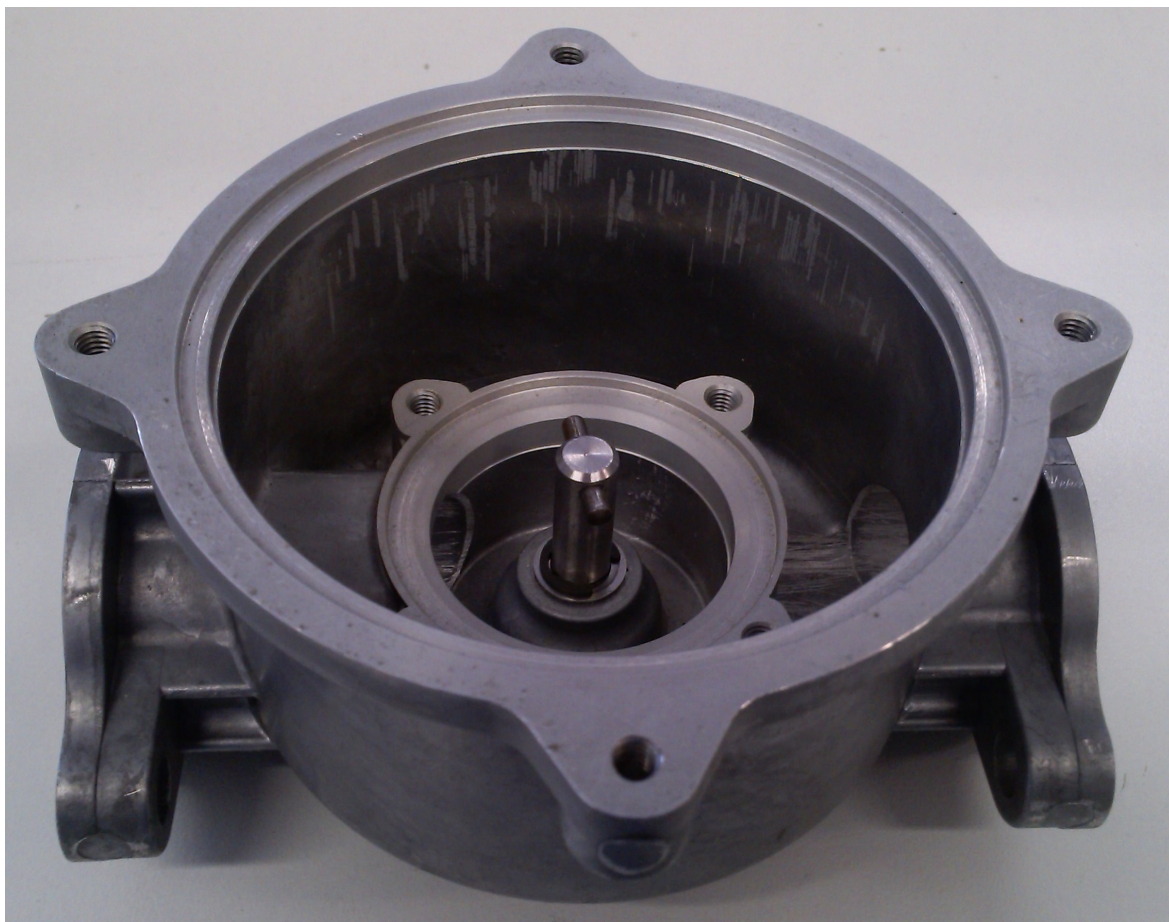
2.1.10 Připojení k PC

Zařízení bude možno připojit pomocí převodníku k PC a za použití vhodného SW bude možno zařízení testovat a kalibrovat.

2.2 Impulsér

U každého produktu, který je na čerpací stanici k dispozici, je potřeba měřit vytočené množství při jeho výdeji. Proto má stojan sadu tzv. impulsérů. Každé výdejní pistoli je předřazen jeden impulsér. Hlavní funkce impulséru je měření množství protečeného paliva, další funkcí je měření rychlosti protékání a směru protékání.

Zadavatel požaduje návrh impulséru pro dodaný hydraulický monoblok (obr. 6) za použití obvodu AS5050 výrobce ams AG. Palivo protéká přes monoblok, to způsobuje otáčení magnetu na druhé straně monobloku (obr. 7). Naproti magnetu je na DPS impulséru umístěn obvod AS5050, který měří orientaci magnetického pole. Ten pomocí SPI komunikuje s procesorem impulséru. S řídicí jednotkou komunikuje impulsér pomocí CAN sběrnice. Použitým monoblokem za jednu otáčku proteče objem přibližně 0.48 l, přesnou hodnotu je potřeba změřit, proto je každý sestavený celek impulséru s monoblokem kalibrován.



Obr. 6. Víko impulséru pro hydraulický monoblok

2.2.1 Detekce kladného pootočení

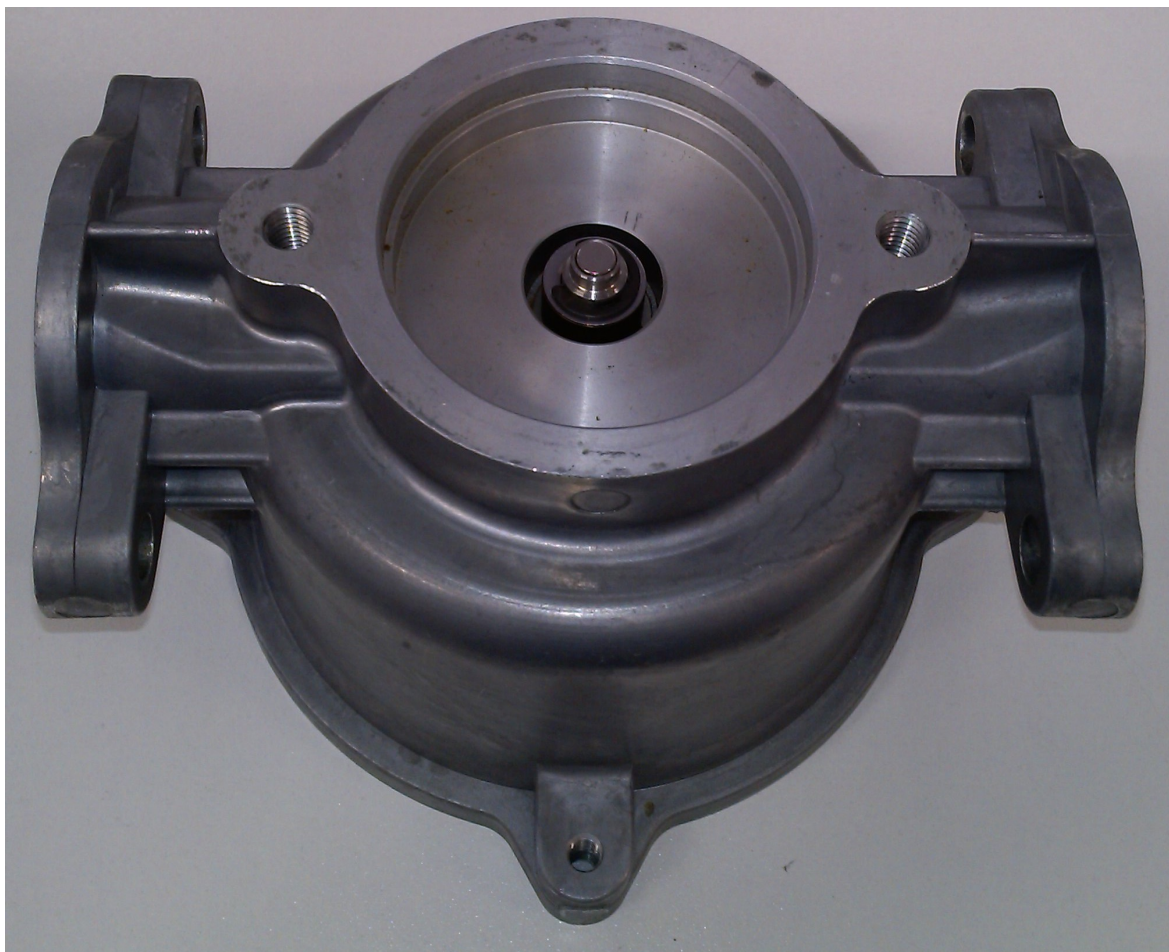
Impulsér musí být schopen měřit pootočení kladným směrem a každou zjištěnou změnu poslat řídicí jednotce. Jednotkou otočení je impuls.

2.2.2 Detekce záporného pootočení

Impulsér musí být schopen měřit pootočení záporným směrem a pokud zjištěné pootočení přesáhne mezní hodnotu, musí o tomto informovat řídicí jednotku.

2.2.3 Mezní hodnota záporného pootočení

Impulsér musí disponovat registrem pro nastavení mezní povolené hodnoty záporného otočení.



Obr. 7. Pohled na magnet impulsér - víko hydraulického monobloku

2.2.4 Snímací prvek

Jako snímací prvek bude použit obvod ams AS5050.

2.2.5 Konstanta

Impulsér musí disponovat registrem pro nastavení hodnoty konstanty. Konstanta udává, jaký objem představuje 1 impulz u daného impulséru. Hodnota konstanty se u každého sestaveného celku impulséru s hydraulickým monoblokem liší, a je proto potřeba provést kalibraci. Hodnota konstanty bude uložena v odpovídajícím registru.

2.2.6 Kalibrace

Kalibrací je prováděno nastavení konstanty. Kalibrace bude prováděna ve výrobě po vložení impulséru do hydraulického monobloku. Na testovacím pracovišti se nechá sestaveným celkem protéct testovací množství tekutiny a toto množství je poté zadáno impulséru, ten provede jeho podělení naměřeným počtem impulzů, a tím vypočítá hodnotu kon-

stanty. Kalibraci je možné provést znova, tedy i po sestavení celého stojanu. Přechod do režimu kalibrace je proveden změnou polohy přepínače umístěném na DPS.

2.2.7 Měření průtoku

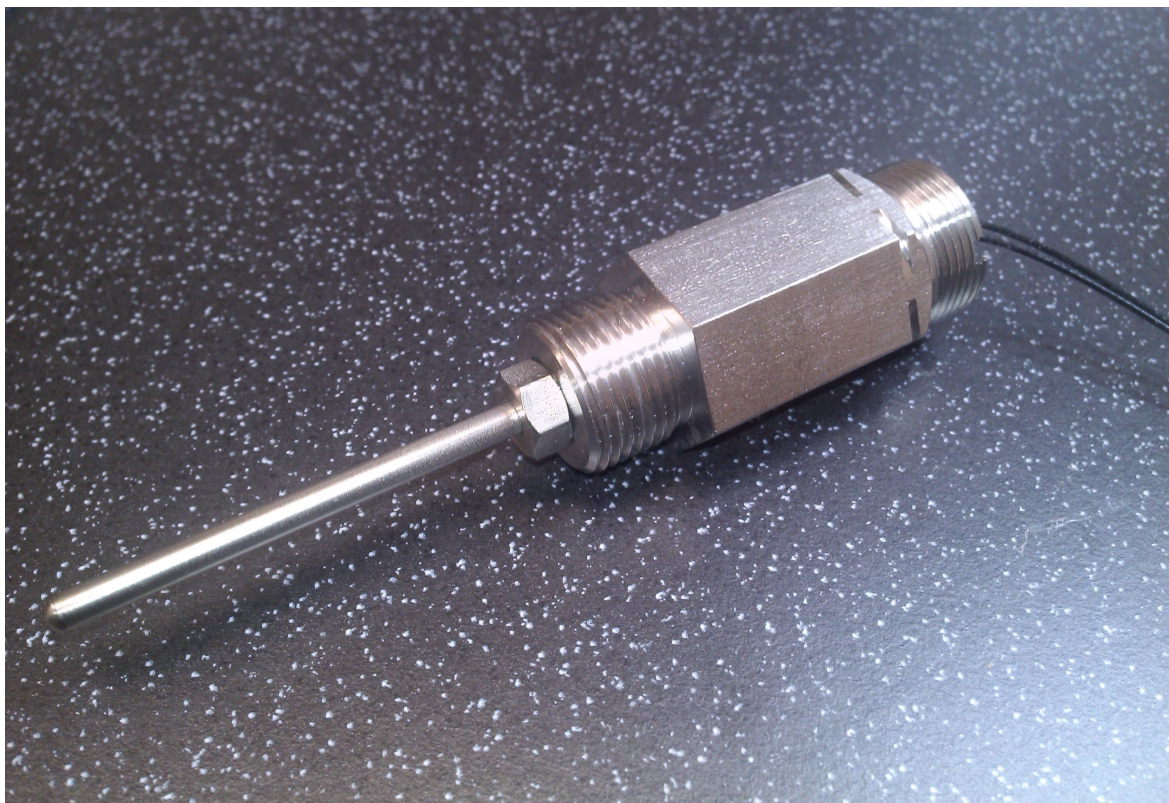
Impulsér musí měřit průtok a pokud dojde k překročení mezní hodnoty, která je stanovena na 150 l/min, musí informovat řídicí jednotku prostřednictvím příznaku chyby průtoku.

2.3 Snímač ATC

Objem média vydávaného stojanem je závislý na jeho teplotě. Jelikož tato závislost není zanedbatelná, je potřeba ji při výdeji naměřit a zohlednit ve výpočtu vydaného množství. Úkolem snímače ATC je periodické měření teploty a předání této informace řídicí jednotce, aby mohla provést kompenzaci naměřeného objemu.

Při zahřívání kapaliny vzroste vlivem tepelné roztažnosti její objem a nepřímo úměrně této změně se zmenší hustota. Tepelná roztažnost kapalin se zpravidla výrazně zvyšuje se snižováním jejich hustoty. Zatímco voda s hustotou 1000 kg m^{-3} má koeficient tepelné roztažnosti při teplotě kolem $20 \text{ }^\circ\text{C}$ $\beta_{\text{voda}} = 0,00021 \text{ K}^{-1}$, kapaliny s nižší hustotou mají koeficient roztažnosti několikanásobně vyšší. Do této skupiny kapalin řadíme kapalná paliva včetně jejich směsí s biosložkami - E 85 a bionafty B30. Pro motorovou naftu s hustotou 816 až 840 kg m^{-3} při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a bezolovnatý automobilový benzin (BA 95 Super, BA 98 Super plus) včetně E 85 s hustotou 716 až 770 kg m^{-3} se používá koeficient tepelné roztažnosti $0,001 \text{ K}^{-1}$. [22]

Odpovědí na problém roztažnosti produktů je teplotní kompenzace měření objemu distribuovaných PHM. Za účelem zajištění správnosti účtování v souladu s platnou legislativou v oblasti distribuce PHM používají distribuční společnosti systém automatického přepočtu účtovaného objemu na referenční teplotu $+15 \text{ }^\circ\text{C}$. Princip teplotní kompenzace objemu spočívá v průběžném (dynamickém) měření teploty produktu během stáčení do přepravních cisteren, resp. do uskladňovacích nádrží nebo při výdeji výdejním stojanem do nádrže automobilu, výpočtu hustoty produktu a přepočtu protečeného objemu na teplotu $15 \text{ }^\circ\text{C}$ - systém ATC (Automatic Temperature Compensation). [22]



Obr. 8. Pouzdro snímače ATC

2.3.1 Měření teploty

Čidlo musí měřit aktuální teplotu a posílat její hodnotu řídicí jednotce každou sekundu.

2.3.2 Konstanty

Čidlo musí implementovat 3 kalibrační konstanty, které jsou využity k výpočtu teploty. Naměření těchto konstant je prováděno kalibrací při výrobě. Dva koeficienty, sloužící pro dvoubodovou kalibraci, jsou po naměření neměnné. Třetí koeficient slouží jako offset vypočítané hodnoty a je možné jej měnit i později.

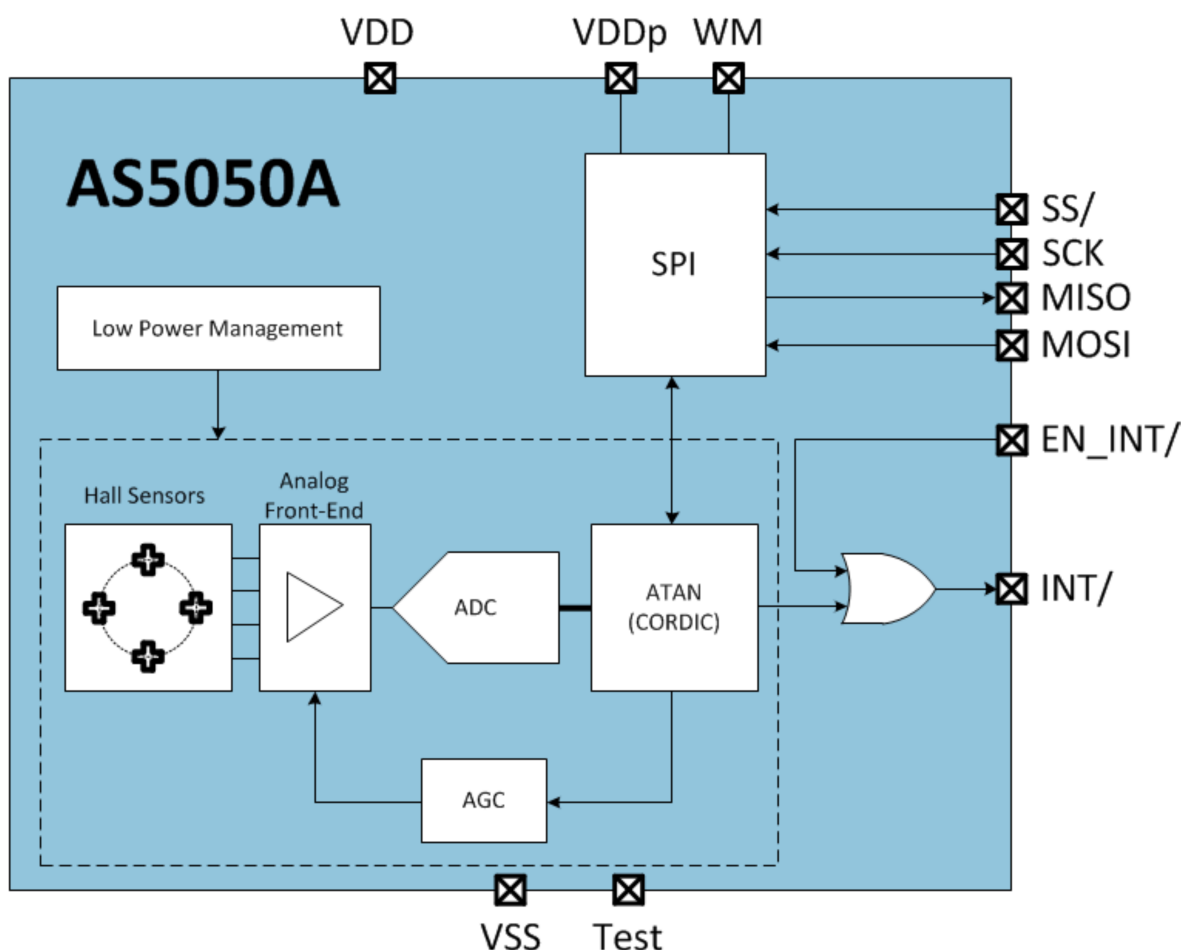
2.3.3 Senzor

Jako senzor bude použit čip Vishay PTS PT100.

3 OBVOD AS5050

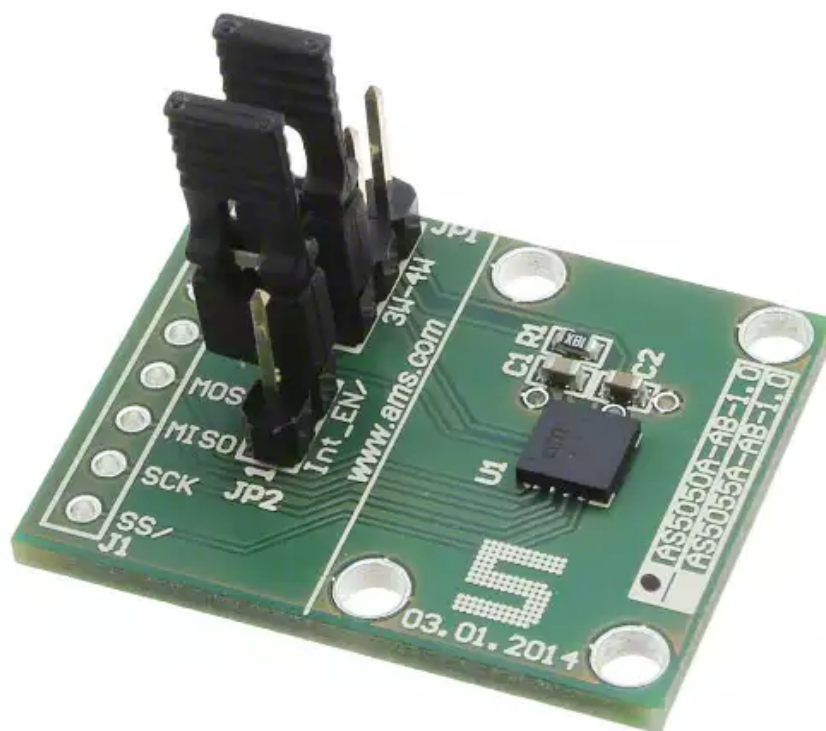
3.1 Základní informace

Impulsér využívá k měření magnetického pole magnetu v hydraulickém monobloku obvod AS5050. Jde o jednočipový magnetický rotační enkodér. Čtení natočení magnetického pole je prováděno čtveřicí hallových sond, které jsou umístěny v rozích čipu. Komunikace probíhá pomocí SPI, 3 nebo 4 vodičovým zapojením. Čip je dodáván v 16pinovém QFN pouzdře o rozměrech 4 x 4 x 0.85 mm a je schopen pracovat v rozsahu teplot -40 °C až +85 °C. Převodník poskytuje 10bit hodnotu natočení měřeného magnetického pole, tedy rozsah 0 až 1023.

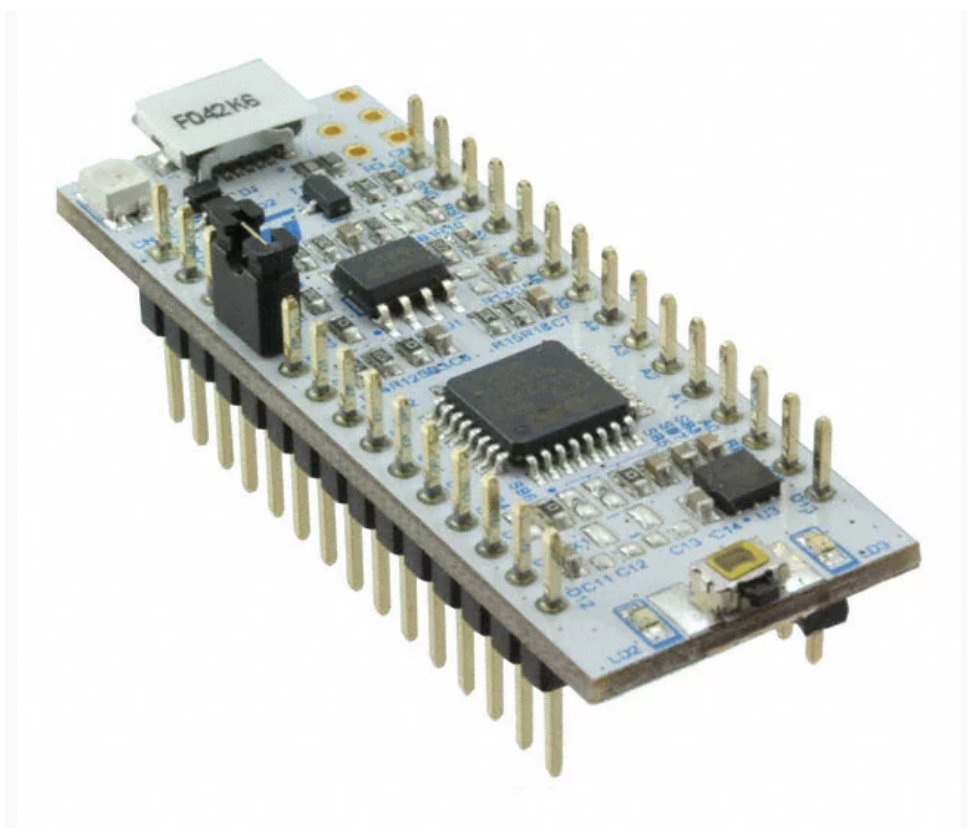


Obr. 9: Blokové schéma obvodu AS5050

Obvod AS5050 je možno zakoupit jako demoboard (Obr. 10). Ten byl společně s vývojovým kitem STM Nucleo32 (Obr. 11) použit pro rané prototypování.



Obr. 10: AS5050 demoboard [10]



Obr. 11: STM32F042 Evaluation Board [13]

AS5050 nepodporuje nastavení nulové polohy, tedy natočení, vůči kterému je udáváno aktuální natočení. Pokud je toto vyžadováno, je potřeba jej implementovat v hostujícím procesoru.

3.2 Komunikace s AS5050

Datový rámec zpráv tvoří:

- 14 bitů dat
- bit pro příznak chyby
- paritní bit

Při zápisu do AS5050 není bit pro příznak chyby použit. Parita je generována z předchozích 15 bitů a doplňuje rámec na sudou paritu.

Každá odchozí zpráva ve funkci příkazu pro AS5050 je tvořena:

- bitem označující typ operace – čtení nebo zápis
- 14bitovou adresou
- paritním bitem

Zpráva realizující čtení z AS5050 je tvořena:

- 14 bity dat z požadovaného registru
- 1 bitem pro příznak indikující chybu v předchozím přenosu
- paritním bitem

Zpráva realizující zápis do AS5050 je tvořena:

- 14 bity dat k zapsání
- 1 prázdným bit, jeho hodnota není brána v potaz
- 1 paritním bitem

3.2.1 Hlášení chyb

Nesprávná funkce nebo komunikace obvodu AS5050 s okolím je indikována několika chybovými příznaky. Každá zpráva čtení má vyhrazený bit pro příznak chyby, který udává, zda při předchozí komunikaci nedošlo k chybě. Dále je také dostupný registr seskupující další chybové příznaky.

Tab. 1. Registr chybových příznaků [11]

Description	Error Status DSP						Error Status System				Error Status SPI			
Bit	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Type	reserved	DSPAHI	DSPALO	RANERR	DSPOV	DACOV	reserved	MODE	WOW	reserved	ADDMON	CLKMON	PARITY	

Příznaky chybového registru:

- PARITY: je nastaven, pokud paritní bit v poslední přijaté zprávě neodpovídá vypočtenému paritnímu bitu
- CLKMON: je nastaven, pokud počet hodinových cyklů není správný
- ADDMON: nastaven, pokud požadovaná adresa neexistuje
- WOW: Slouží pro kontrolu integrity obvodu. Pokud obvod přijme příkaz pro čtení úhlu, nastaví příznak WOW na hodnotu 1. Po změření úhlu jej nastaví zpět do 0. Pokud během měření nastala chyba (dead lock), zůstane příznak WOW nastaven na hodnotu 1.
- MODE: Příznak je během nečinnosti nastaven na 0. Pokud obvod právě měří natočení, je nastaven na 1.
- DACOV: Příznak je nastaven, pokud je měřené magnetické pole pro některou hallovu sondu příliš velké. Toto je často způsobeno umístěním magnetu mimo osu převodníku.
- DSPOV: Indikuje přetečení modulu CORDIC
- RANERR: Značí pokles přesnosti způsobený zvýšenou teplotou.
- DSPALO: Indikuje, že hodnota automatického řízení zisku je rovna nebo nižší než minimální povolená hodnota
- DSPAHI: Indikuje, že hodnota automatického řízení zisku je rovna nebo vyšší než maximální povolená hodnota

3.2.2 SPI komunikace

16bit SPI umožňuje čtení a zápis registrů obvodu a je kompatibilní se standardním rozhraním mikropočítačů. SPI modul začne naslouchat jakmile je pin /SS uzemněn. Obvod čte hodnotu MOSI pinu při každé sestupné hraně signálu SCK a nastavuje hodnotu na MISO pinu při každé vzestupné hraně signálu SCK. Po 16 hodinových cyklech musí být pin /SS nastaven zpět na high za účelem zresetování některých částí komunikačního modulu. SPI

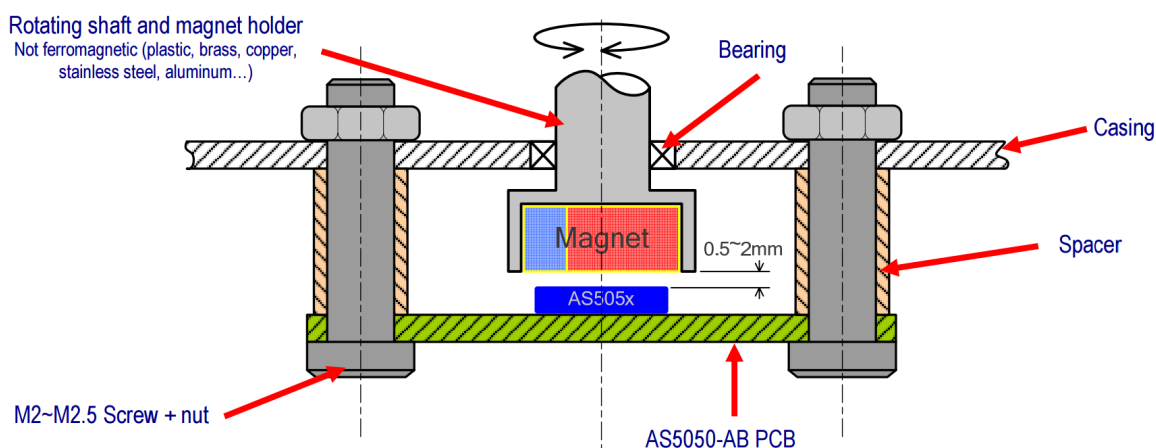
může pracovat ve 3 nebo 4vodičovém režimu, volba je provedena pomocí logické úrovně na pinu Wire_Mode. Režim komunikace je zjišťován po startu obvodu a po příkazu pro softwarový reset.

Obvod umožňuje následující zapojení:

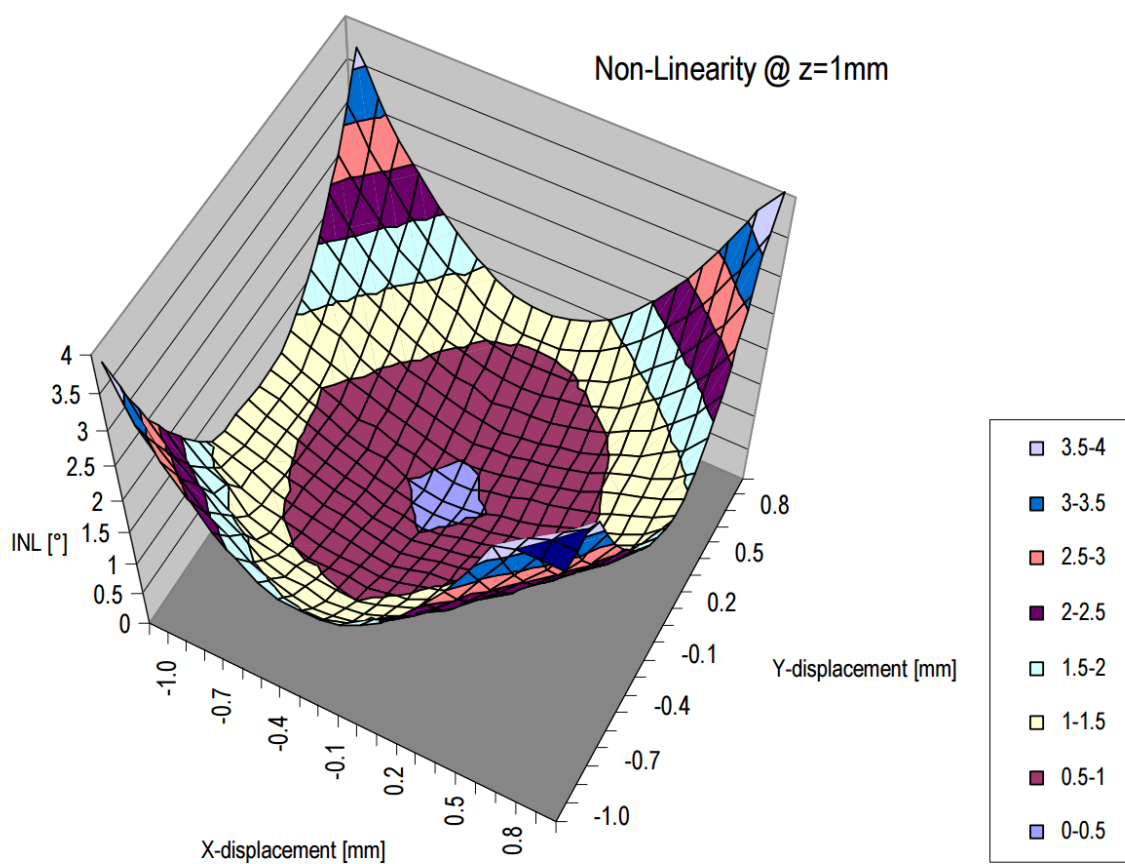
- 4vodičové, využity signály MISO i MOSI, souběžná komunikace oběma směry, komunikace probíhá formou dotazování obvodu AS5050 na požadovanou hodnotu
- 3vodičové, využít pouze signál MOSI, jednosměrná komunikace, AS5050 posílá periodicky informaci o natočení
- 3vodičové, signály MISO a MOSI na jednom vodiči, komunikace je obousměrná, nesouběžná, směr se střídá každý cyklus komunikace, probíhá formou dotazování obvodu AS5050 na požadovanou hodnotu

3.2.3 Umístění magnetu

Nejvhodnější horizontální pozice pro umístění magnetu je nad středem pouzdra čipu. Na obr. 13 je vidět závislost chyby na umístění při použití magnetu NdFeB N35H s průměrem 6 mm a výškou 2,5 mm při umístění 1 mm nad pouzdro obvodu. Osy x a y udávají vychýlení osy magnetu vůči ose obvodu v milimetrech. Osa z udává nejhorší možnou míru integrální nelinearity pro dané umístění ve stupních.



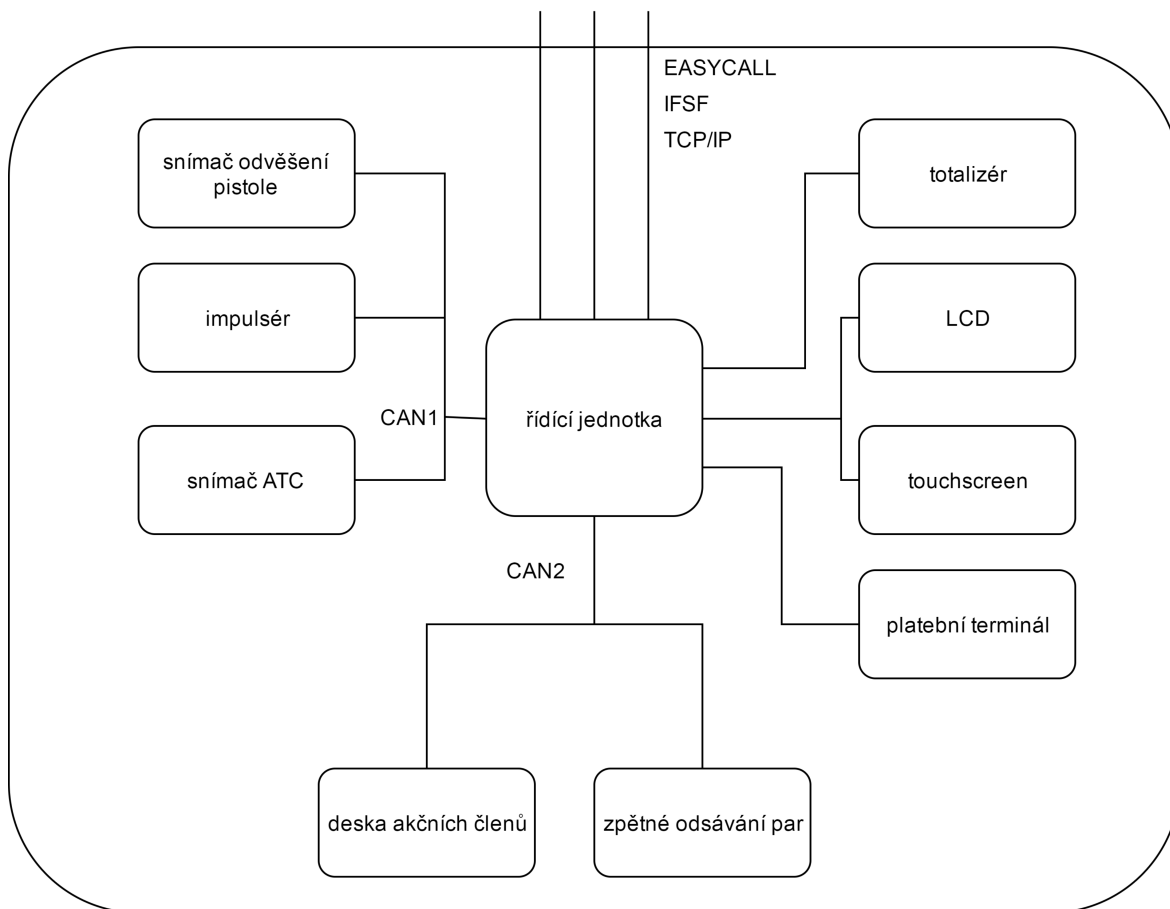
Obr. 12. Schéma znázorňující ideální umístění magnetu vůči obvodu AS5050 [12]



Obr. 13. Graf závislosti chyby měření na umístění magnetu vůči čipu[11]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 SW ARCHITEKTURA



Obr. 14: Blokové schéma stojanu

4.1 Řídící jednotka

Středem systému je řídicí jednotka. Disponuje 2 CAN kanály, první slouží pro připojení snímacích členů, druhý pro připojení akčních členů. Dále obsahuje rozhraní pro připojení 2 LCD a jejich dotykových vrstev, platebního terminálu, totalizérů, síťové rozhraní pro připojení k internetu a rozhraní IFSF nebo Easycall pro připojení ke kiosku čerpací stanice.

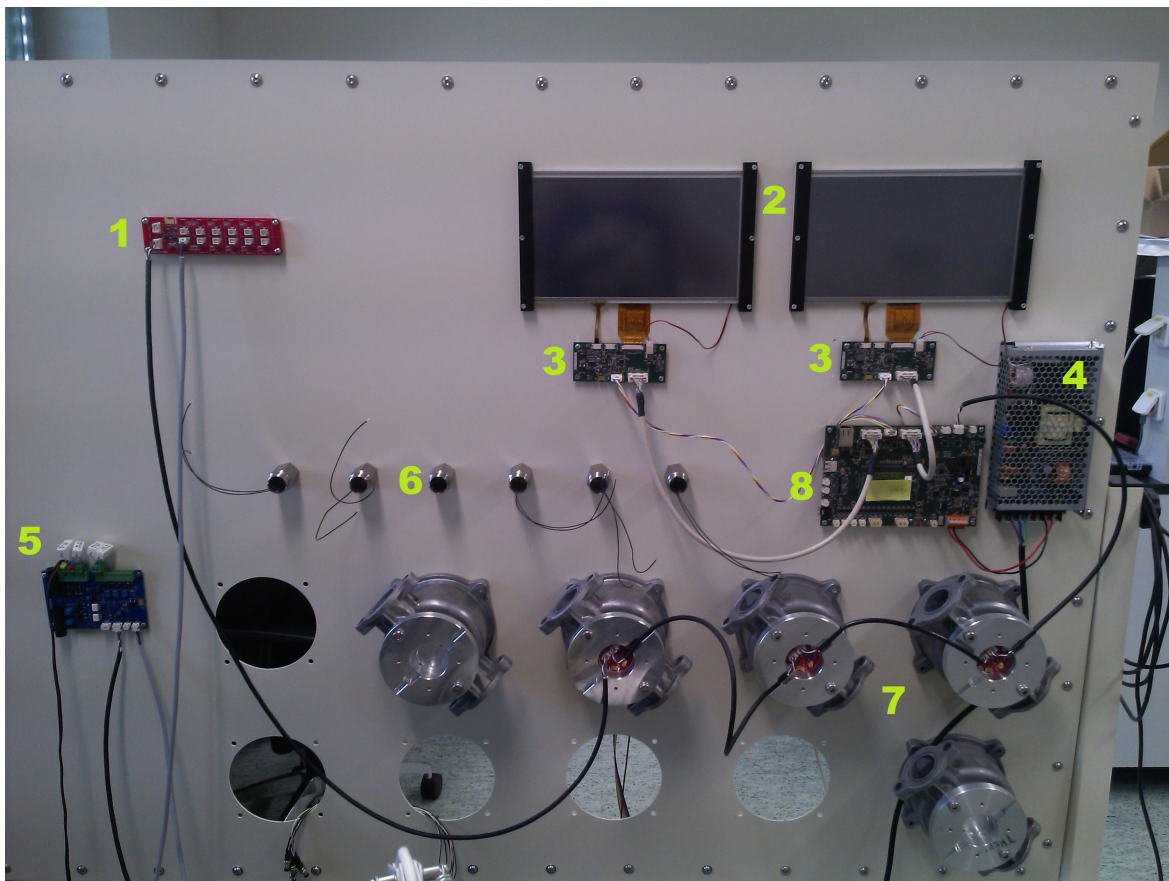
4.2 Komunikační knihovna

Všechny akční a měřicí členy komunikují pomocí CAN sběrnice a byly na ně kladeny podobné požadavky, proto vzniklo unifikované rozhraní pro řízení a komunikaci s těmito členy.

5 IMPLEMENTACE FIRMWARE

5.1 Společné vlastnosti

Pro účely testování vyvíjených zařízení vznikl simulátor výdejního stojanu (obr. 15).



Obr. 15. Simulátor výdejního stojanu

1 – deska snímačů vyvšení tankovací pistole, 2 – dvojice LCD, 3- řadiče LCD, 4 – napájecí zdroj, 5 – deska akčních členů, 6 – šestice snímačů ATC, 7 – pětice vík hydraulických monobloků, tři osazené impulsem, 8 – řídicí jednotka

V rámci vývoje firmware vznikla uživatelská a implementační dokumentace pro obě zařízení.

5.2 Propojení komponent

Propojení prvků jedné větve je realizováno 4žilovým kabelem, který vede signály CAN Hi a CAN Lo pro komunikaci a 2 vodiče pro 5 V napájení. Zařízení využívají sběrníkovou topologii, každé zařízení má proto 2 konektory. Poslední člen má na slepém konci připojen

terminátor.

5.2.1 Obecné registry

Zařízení každého typu připojené na sběrnici akčních nebo měřících členů obsahuje registry uvedené v tabulce 2.

Tab. 2. Obecné registry

<i>Název registru</i>	<i>Popis funkce</i>
serial_number_reg	sériové číslo zařízení
device_type_reg	typ zařízení
heartbeat_rate_reg	interval vysílání heartbeatu
current_time_reg	systemový čas
version_major_reg	hlavní verze FW zařízení
version_minor_reg	vedlejší verze FW zařízení
error_reg	příznak chyby

5.3 Použitý procesor

Pro realizaci obou zařízení byl využit procesor STM32F042G6 výrobce STMicroelectronics. Jedná se o 32bit RISC Cortex-M0. Maximální frekvence je 48 MHz. , disponuje 5kanálovým DMA řadičem, 12bit ADC, RTC jednotkou, 9 časovači, I²C rozhraním, 2 USART, 2 SPI, CAN, USB, až 32 kB Flash paměti a 6 kB SRAM. [24]

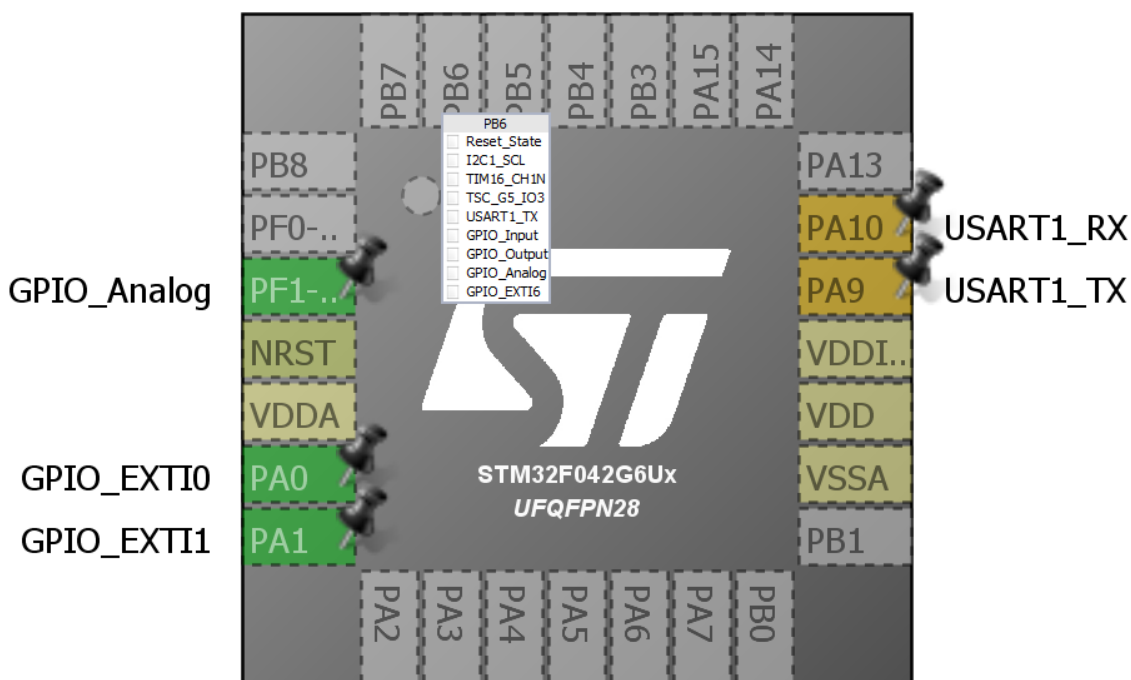
K programování a ladění byl použit programátor ST-LINK/V2 (obr. 16).



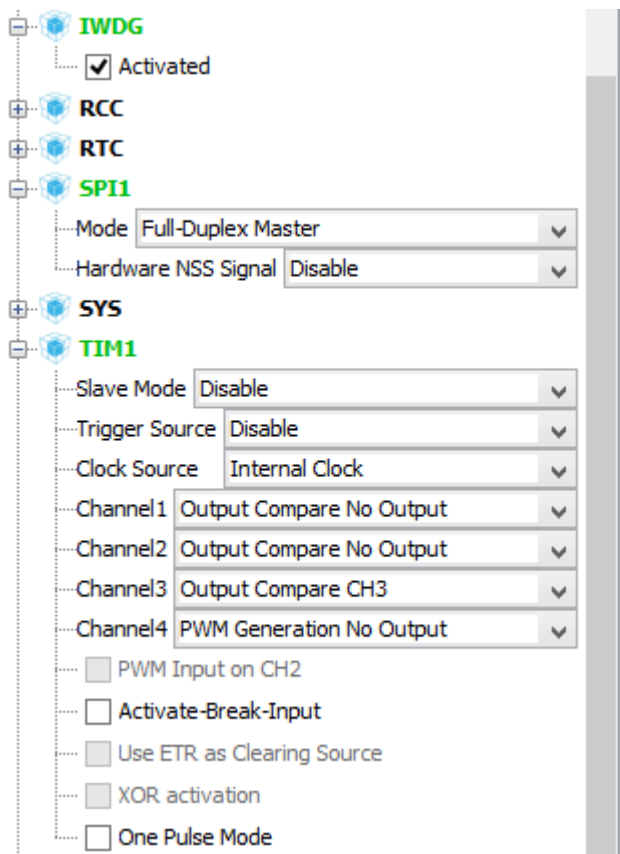
Obr. 16. Programátor ST-LINK/V2 [25]

5.4 CubeMX

Při vývoji firmware byla využita aplikace CubeMX. Jde o aplikaci s grafickým uživatelským rozhraním, která umožňuje jednoduše a rychle nakonfigurovat periferie, které programátor chce ve své aplikaci použít. Dříve bylo nutné tuto fázi vývoje provést ručně, psaním kódu. Při použití CubeMX máme k dispozici interaktivní průvodce, kteří hlídají závislosti mezi použitými periferiemi, nekonfliktnost nastavených voleb a podobně.



Obr. 17. Ukázka konfigurace pinů pomocí aplikace CubeMX



Obr. 18. Konfigurace periférií procesoru pomocí nástroje CubeMX

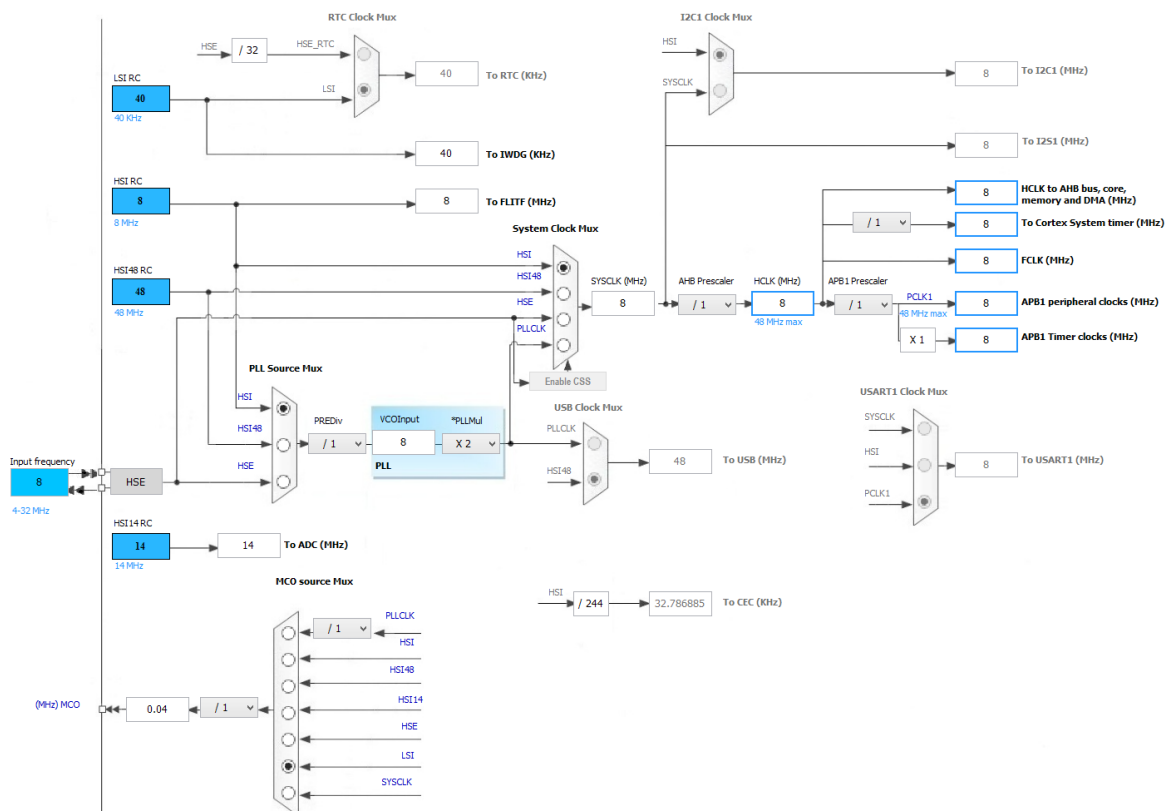
5.5 Kalibrace

Obě zařízení musí umožňovat kalibrační režim. Přechod do kalibračního režimu je řízen 2polohovým přepínačem umístěným na DPS daného zařízení. Přepínač je připojen na pin zařízení, který je nastaven do režimu přerušení z externího zdroje. V obsluze tohoto přerušení je zjištěna poloha, do které byl přepínač posunut a podle toho provedeny odpovídající akce.

5.6 Watchdog

Hodinovým signálem pro WD je výstup integrovaného low speed oscilátoru o frekvenci 40 MHz. Prescaler byl nastaven na 32, window value na 4095, k sepnutí watchdogu tedy dojde za 3, 276 s. Hodnotu je třeba uvažovat orientačně z důvodu možné nepřesnosti interního oscilátoru.

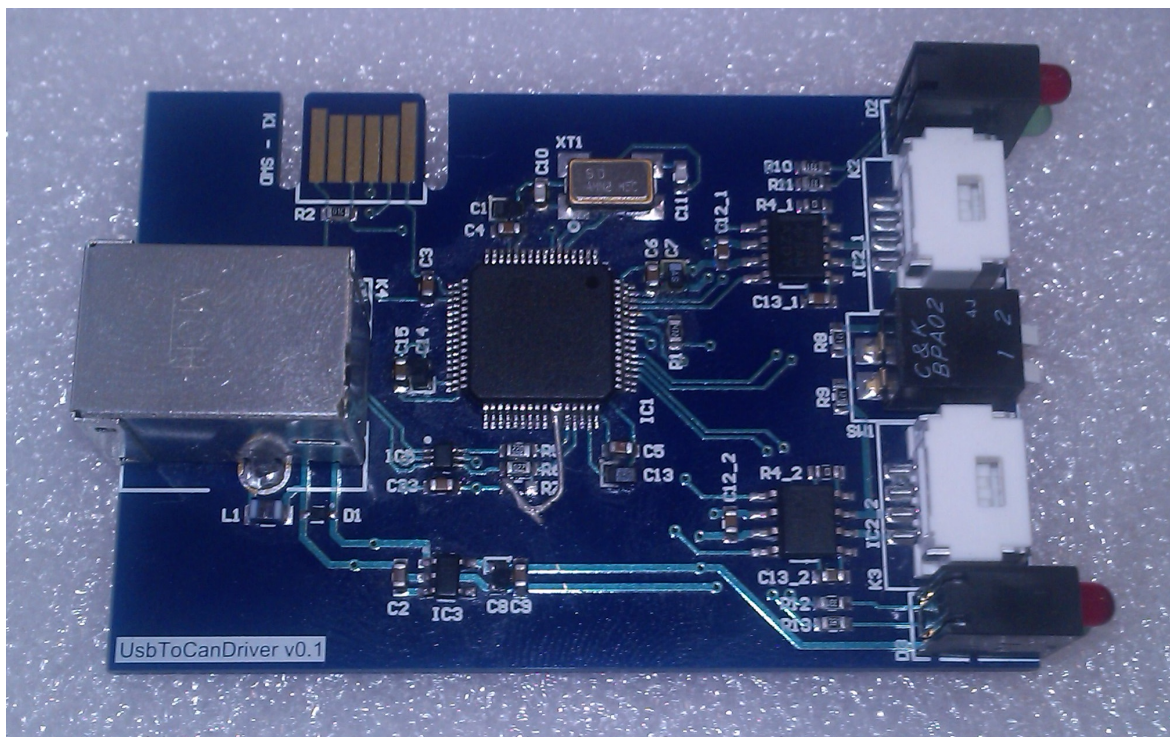
Resetování watchdogu je prováděno z hlavní programové smyčky funkce main.



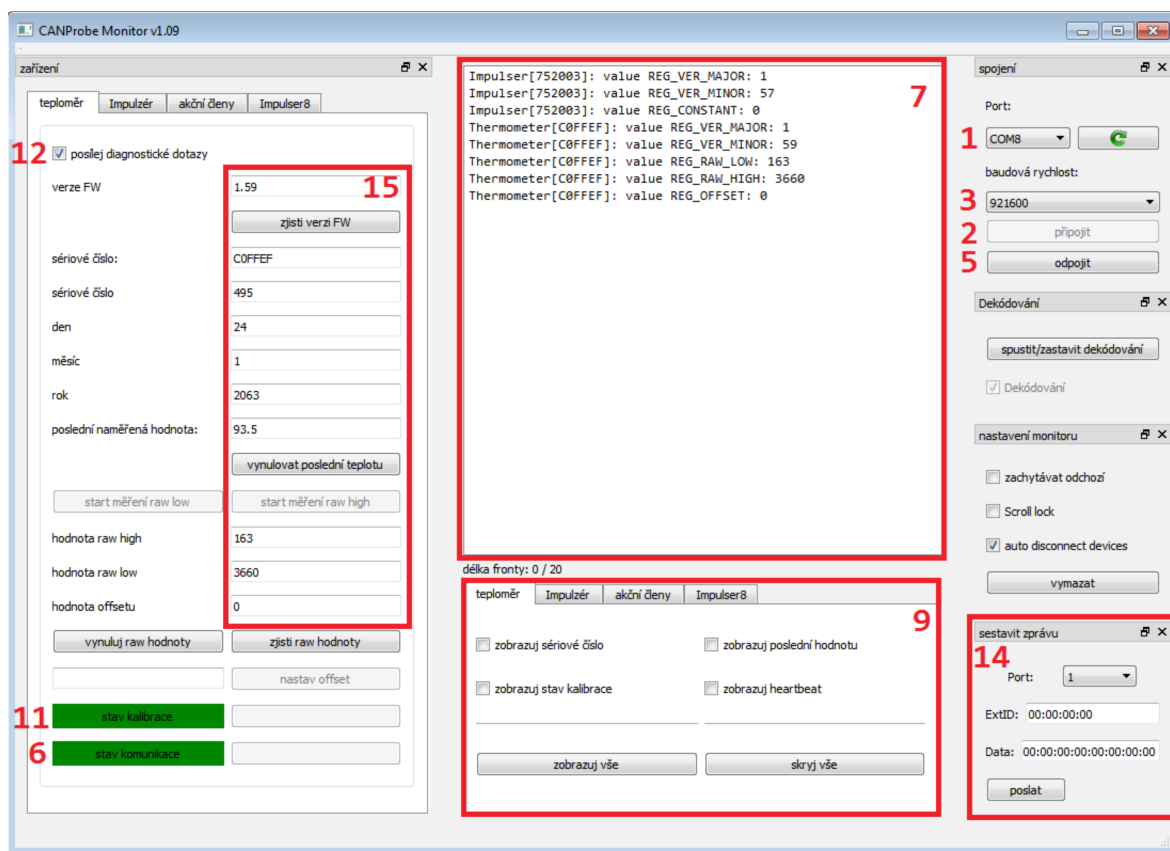
Obr. 19. Screenshot aplikace CubeMX zobrazující nastavení hodinových signálů

5.7 CAN Probe Monitor

Pro potřeby testování bylo potřeba při vývoji komunikovat s koncovými zařízeními (snímače, akční členy) přímo, bez řídicí desky stojanu. Byl proto vytvořen CAN Probe převodník (obr. 20), který funguje jako obousměrný most, který disponuje na jedné straně USB pro připojení k počítači a na druhé straně dvěma CAN kanály. Pro tento převodník bylo potřeba napsat SW aplikaci, která bude data přijatá z převodníku číst, zobrazovat a umožní uživateli poslat data zařízením. Podle potřeb zákazníka a našich potřeb pro ladění koncových zařízení byla vytvořena GUI aplikace CAN Probe Monitor umožňující zobrazování a zadávání hodnot registrů a posílání příkazů připojeným zařízením. Převodník je k počítači připojen pomocí USB, které funguje jako virtuální COM port. Aplikace je multiplatformní a má českou a anglickou jazykovou verzi. Převodník bude rovněž používán ve výrobě, snímače budou kalibrovány touto utilitou, tedy bez připojení k řídicí jednotce.



Obr. 20. Převodník CAN Probe

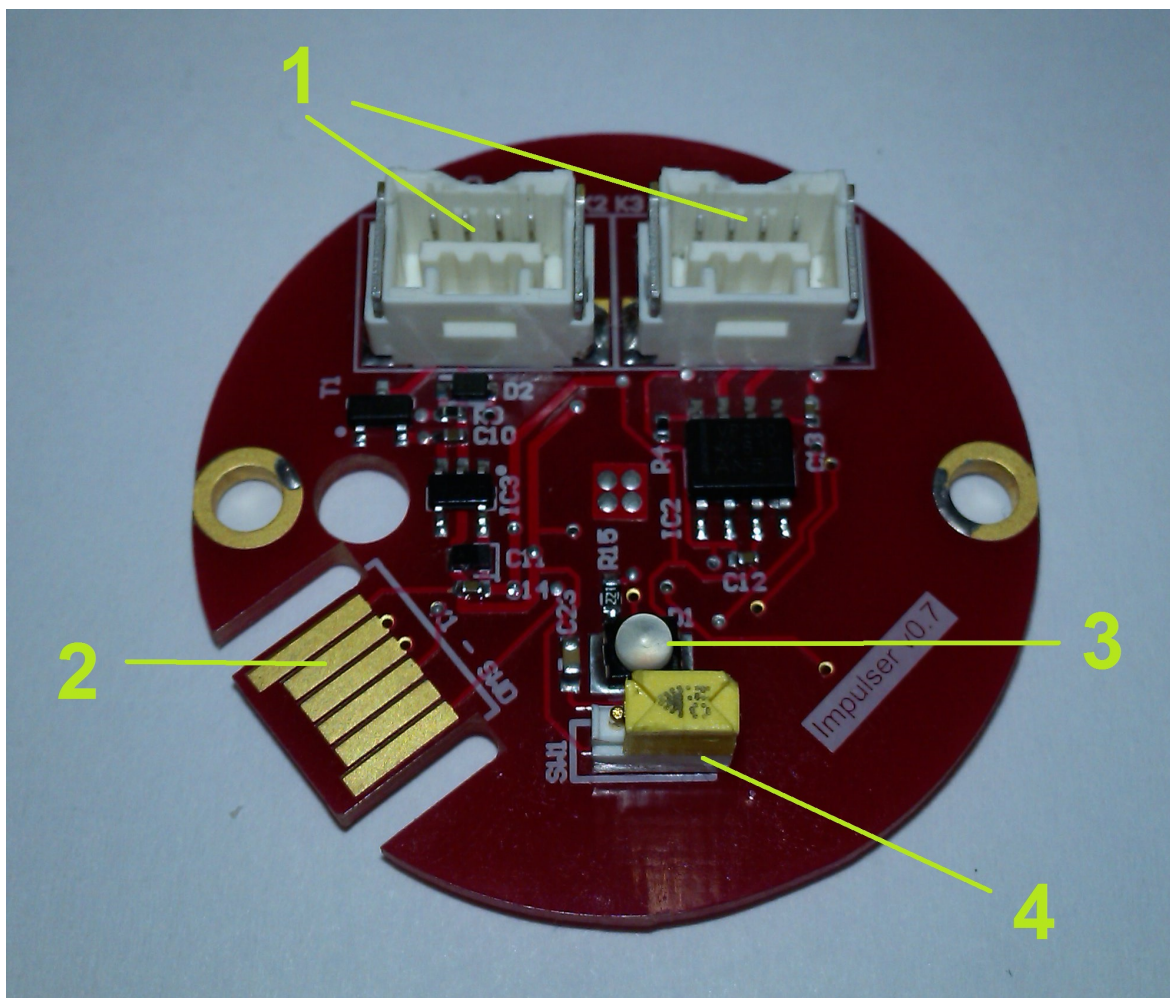


Obr. 21. Screenshot aplikace CAN Probe Monitor

Na obr. 21 je zobrazeno okno aplikace přepnuté na záložku snímače ATC. Pomocí (1) je možno vybrat sériový port, na kterém je CAN Probe připojen. Ukazatel (6) a (11) zob-

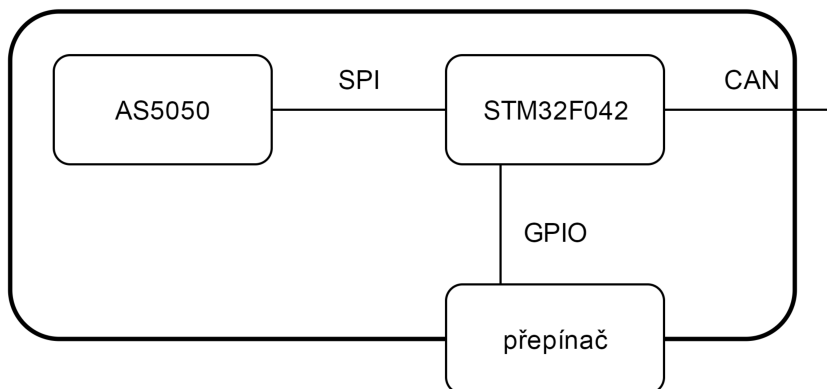
razuje funkčnost komunikace a stav kalibračního režimu. Oblast (15) obsahuje registry daného koncového zařízení, u všech zařízení jde o verzi FW, sériové číslo zařízení, den, měsíc a rok výroby, pořadí vyrobeného kusu v daném dni, dále se ukazatele liší podle karty, na které jsme přepnuti. V případě teploměru jsou zobrazeny kalibrační konstanty a tlačítka pro spuštění kalibrace (na obrázku neaktivní, jelikož kalibrační režim není aktivován). V okně zpráv (7) vidíme příchozí i odchozí zprávy. Na toto okno můžeme aplikovat filtry dostupné v oblasti (9) a vybrat si tak jen ty zprávy, které chceme sledovat. Pokud bychom potřebovali zaslat zprávu, která není dostupná přes nabízená tlačítka monitoru, je možno pomocí prvků v bloku (14) sestavit zprávu vlastní.

5.8 Impulsér



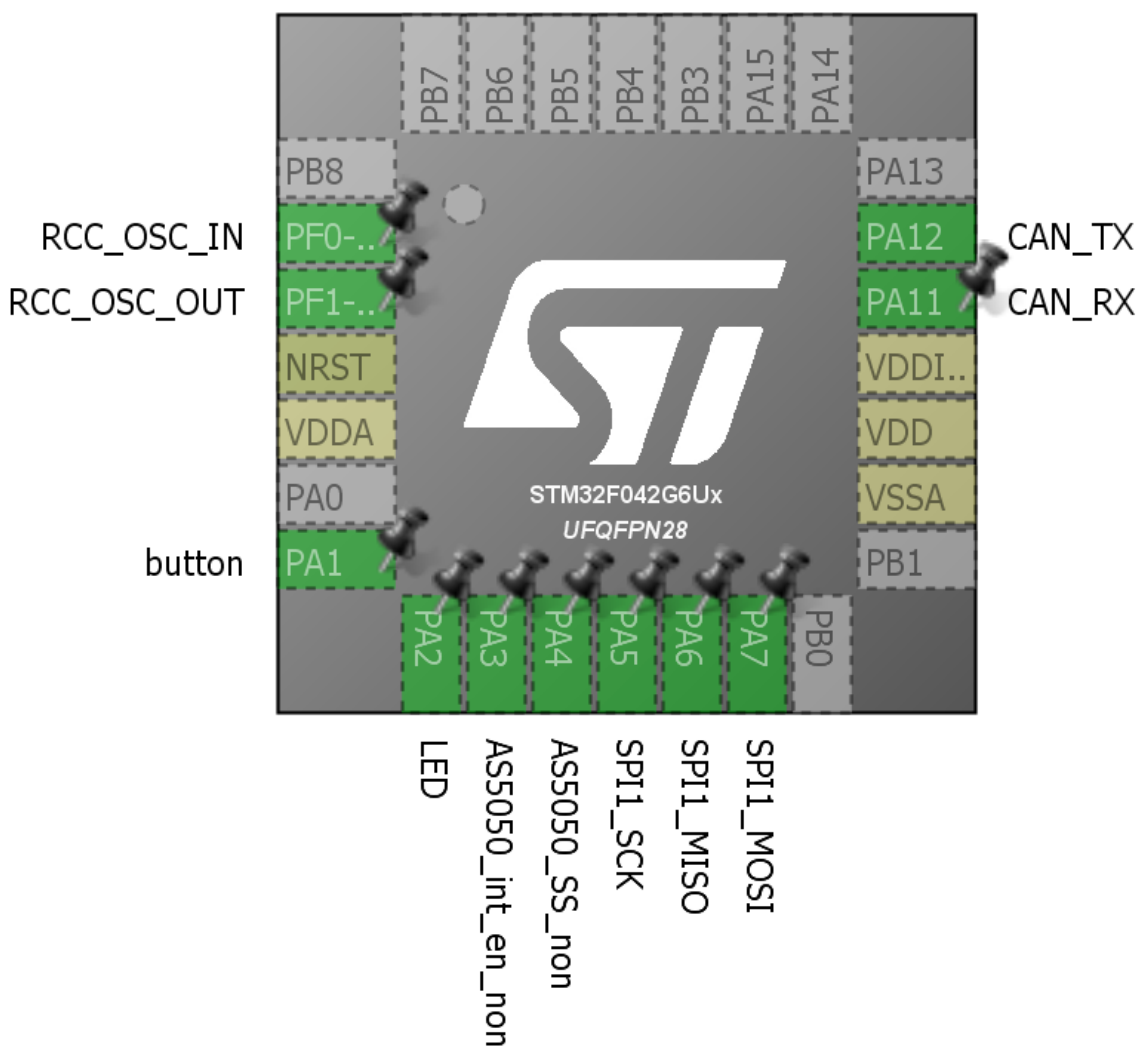
Obr. 22. Pohled na DPS impulséru

1- konektory pro připojení ke sběrnici měřících členů, 2 – programovací konektor, 3 – LED pro indikaci stavu kalibrace, 4 – přepínač pro aktivaci kalibrace



Obr. 23. Blokové schéma impulséru

5.8.1 Využití pinů



Obr. 24. Screenshot aplikace CubeMX znázorňující využití pinů impulséru

Využité piny použitého procesoru:

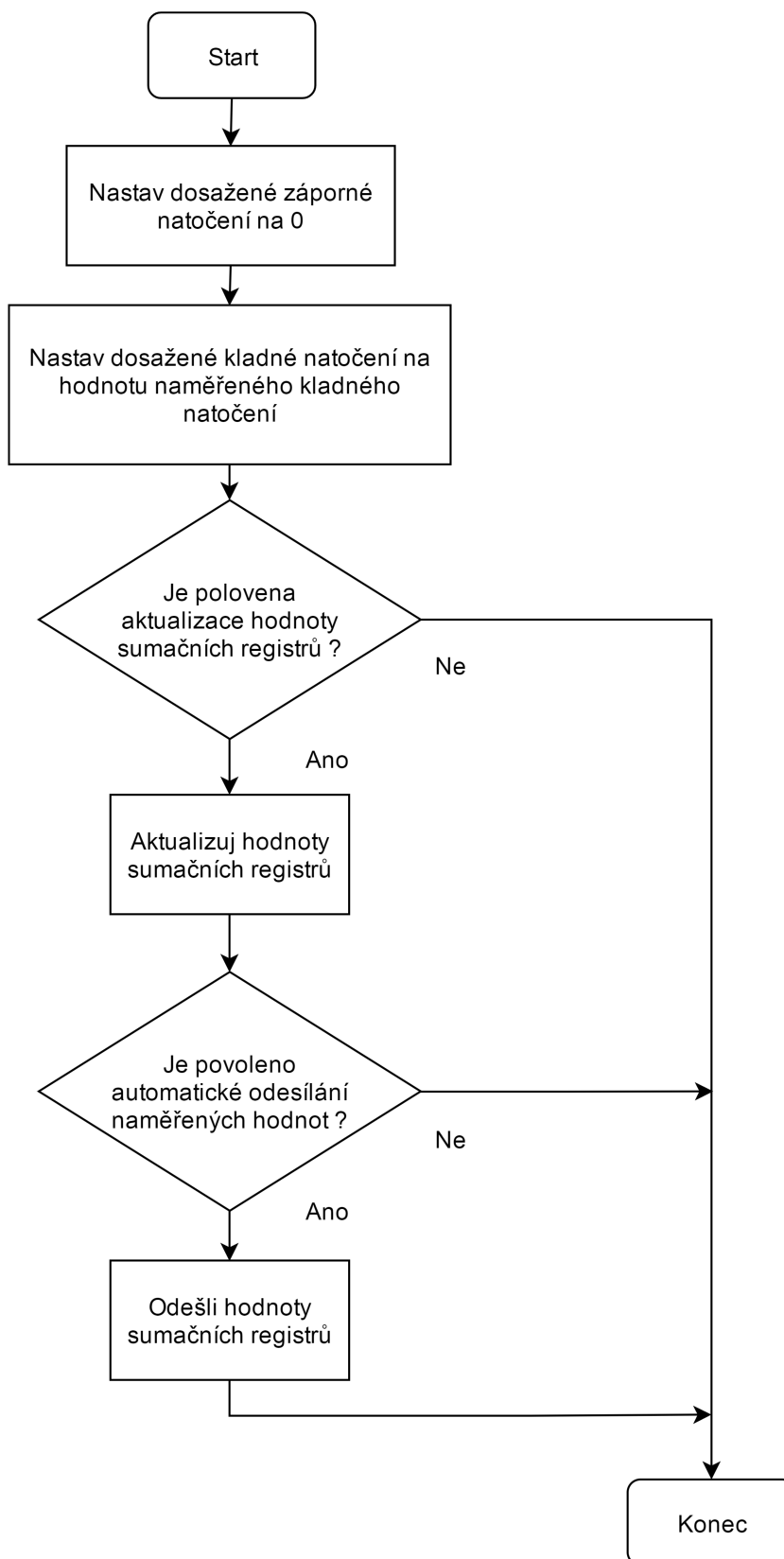
- PA11: RX signál CAN
- PA12: TX signál CAN
- PA1: přepínač sloužící pro zapnutí a vypnutí kalibračního režimu, pin nastaven jako přerušení z externího zdroje
- PA2: LED pro indikaci kalibračního režimu, pin nastaven jako GPIO Output
- PA3: Externí přerušení obvodu AS5050, nevyužito
- PA4: signál slave select pro obvod AS5050, aktivní v nule, pin nastaven jako GPIO Output
- PA5: SCK signál SPI1
- PA6: MISO signál SPI1
- PA7: MOSI signál SPI1

5.8.2 Registry impulséru*Tab. 3. Registry impulséru*

<i>Název registru</i>	<i>Popis funkce</i>
auto_transmit_reg	určuje, zda nově naměřené hodnoty mají být odeslány automaticky
constant_reg	konstanta impulséru
sum_reg	naměřené množství v podobě počtu impulzů
volume_reg	naměřené množství v litrech
negativeRotation_reg	Naměřené záporné natočení v podobě počtu pulzů
cmd_resetSum_reg	příkazový registr, provede vynulování sumačních registrů (constant_reg, volume_reg)
calibration_enabled_reg	registr nesoucí informaci o stavu kalibrace
thresholdValue_reg	hodnota dovoleného záporného pootočení
error_threshold_reg	příznak chyby záporného otočení
error_flow_reg	příznak chyby překročení povoleného průtoku
error_constant_reg	příznak chyby konstanty

<i>Název registru</i>	<i>Popis funkce</i>
error_flash_reg	příznak chyby práce s flash pamětí
error_as5050_reg	příznak chyby práce s obvodem AS5050
error_timer_reg	příznak chyby práce s časovačem

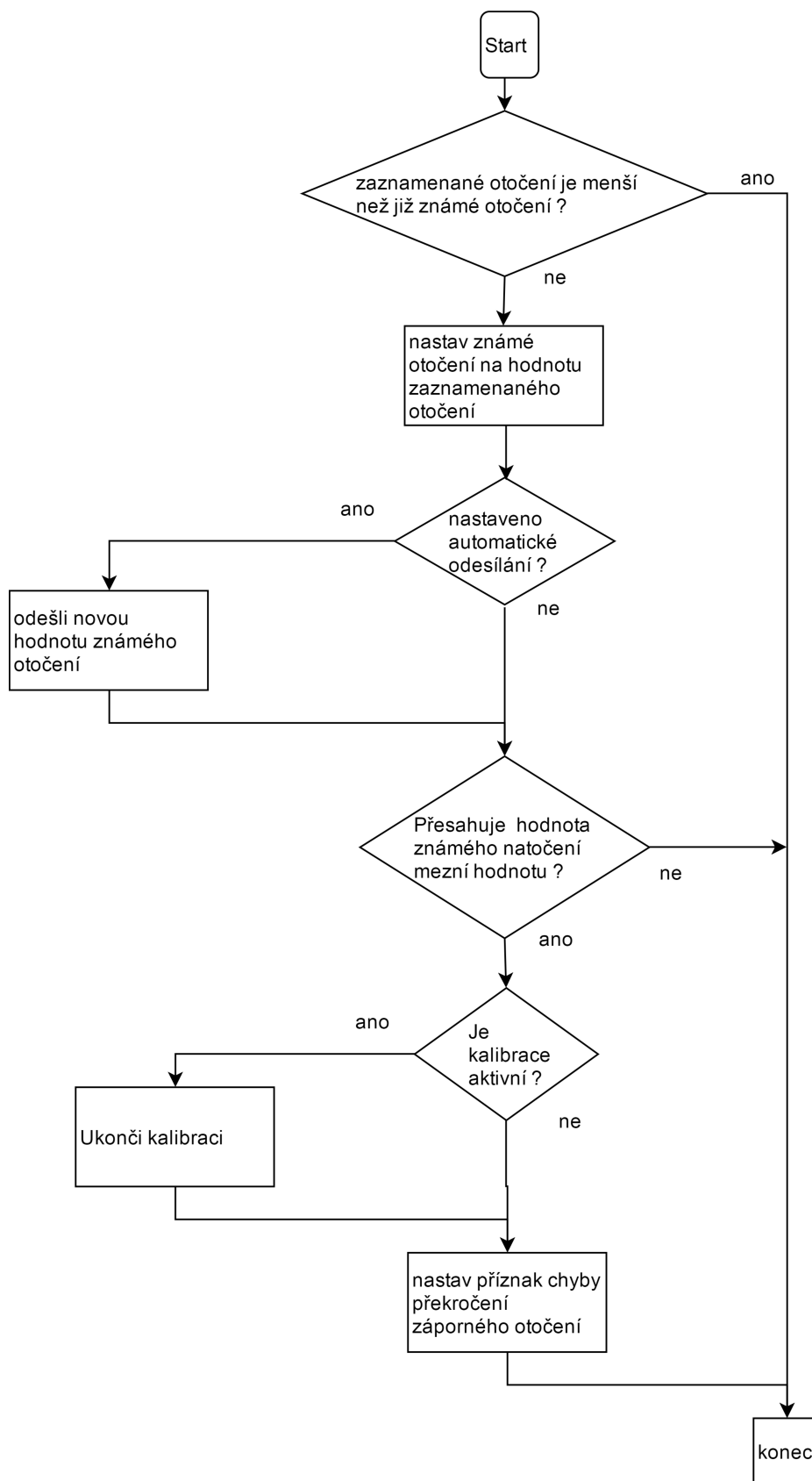
5.8.3 Vyhodnocení detekce kladného otočením



Obr. 25. Vývojový diagram funkce zpracovávající kladné otočení

```
1 1 /**
2  * \brief handles forward direction
3  *
4  *
5  */
6 void increment(void){
7
8     /* reset value of negative shift counter */
9     negativeShift = 0;
10
11     maxAngle = currentAngle; /* note new max value */
12
13     if(!countEnabled){
14         return;
15     }
16
17     sum += difference;
18     volume = sum * constant;
19
20     //if error previously occurred, don't send info about new measures
21     //but if device is not calibrated, constant value error is generated,
22     //we still want messages to be sent
23     if(error_value && !calibration_enabled_val){
24         return;
25     }
26
27     if(auto_transmit_val == 1) {
28         impulser_sendRegister(sum_reg);
29     }else if(auto_transmit_val == 2){
30         impulser_sendRegister(volume_reg);
31     }
32
33 }
```

5.8.4 Vyhodnocení detekce záporného otočení



Obr. 26. Vývojový diagram funkce zpracovávající záporné otočení

```
1 /**
2  * \brief updates negative shift counter and sends its value
3  *
4  */
5 void negativeRotationDetected(void){
6
7     /* negative shift already detected, do nothing */
8     if(negativeShift >= -difference){
9         return;
10    }
11
12    /* negative shift just occurred or
13     * changed its size
14     */
15
16    /* set new value of maximal detected negative shift */
17    negativeShift = (-difference);
18
19    //if error previously occurred, don't send info about new measures
20    //but if device is not calibrated, constant value error is generated,
21    //we still want messages to be sent
22    if(error_value && !calibration_enabled_val){
23        return;
24    }
25
26    /* send message to inform about this */
27    if(auto_transmit_val == 1) {
28        impulser_sendRegister(negativeRotation_reg);
29    }
30
31    //check if negative rotation exceeded allowed limit
32    if(negativeShift > threshold_value_val){
33
34        if(calibration_enabled_val){
35            deactivateCalibration();
36        }
37
38        //set error flag to true
39        error_threshold_val = IMP_ERROR;
40        error_value = ERROR_THRESHOLD;
41
42        impulser_sendRegister(error_threshold_reg);
43    }
44 }
```


5.8.5 Ošetření přechodu přes nulu

Jak bylo uvedeno dříve, měřící prvek dokáže detekovat 1024 hodnot natočení magnetického pole. Uvažujme situaci, kdy je naměřená hodnota natočení 1000 a v dalším průchodu měřící smyčkou je naměřena hodnota 20. Mohly nastat 2 situace. Buď došlo ke zpětnému otočení z hodnoty 1000 na hodnotu 20, nebo došlo k dopřednému otočení z hodnoty 1000 na hodnotu 20, tedy nastal přechod přes nulu. Vzhledem k požadavkům a dovoleným průtokům víme, že k prvnímu případu nedochází, a proto uvažujeme pouze dopředné otočení. Provedeme výpočet hodnoty difference odečtením hodnoty natočení v předchozím průchodu od hodnoty aktuální.

```
difference = 20 - 1000 = -980
```

Jelikož při něm nastal přechod přes nulu, je potřeba toto ošetřit, abychom dostali relevantní hodnotu difference.

```
1 if(difference <= -RESOLUTION_HALF){
2     difference += RESOLUTION_FULL;
3 }else if(difference > RESOLUTION_HALF){
4     difference -= RESOLUTION_FULL;
5 }
```

V tomto případě tedy provedeme přičtení hodnoty RESOLUTION_FULL.

```
1 /** @brief      max value of angle */
2 #define RESOLUTION_FULL 1023
3
4 /** @brief      middle of interval of angle values */
5 #define RESOLUTION_HALF 511
```

Po této úpravě jsme dostali platnou hodnotu difference 43.

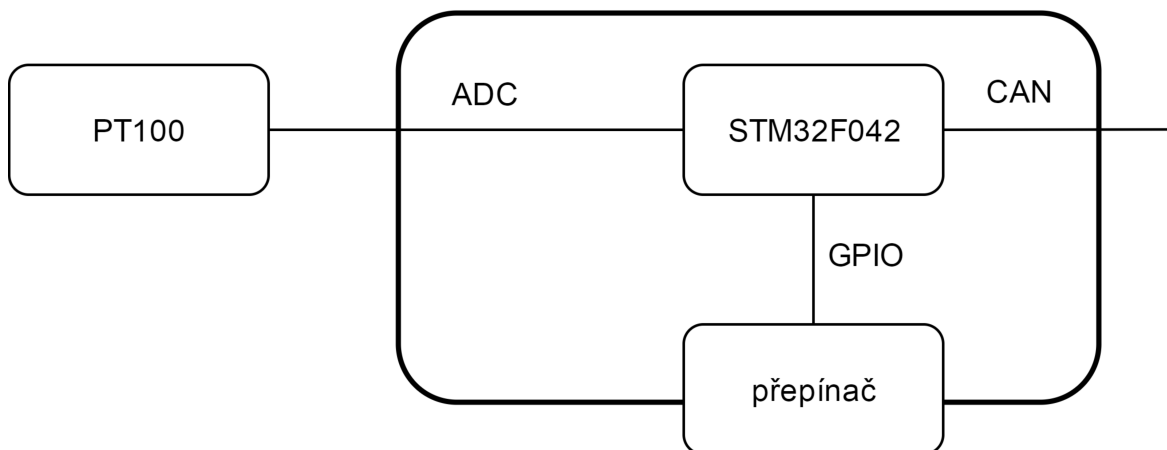
5.8.6 Výpočet konstanty

Konstanta je vypočtena podělením načteného objemu naměřeným počtem impulzů. Poté je provedena kontrola, zdali vypočtená hodnota konstanty spadá do intervalu povolených hodnot. Pokud nespadá do intervalu, je nastavena na 0.0f, uložena do flash paměti a je nastaven příznak chyby konstanty. Pokud hodnota spadá do intervalu, je uložena do flash paměti a příznak chyby konstanty je vynulován. V obou případech je nová hodnota konstanty poslána řídicí jednotce.

5.8.7 Hlídaní maximálního povoleného průtoku

Zadavatelem daný maximální průtok je 150 l/min. Jedna otáčka je tvořena 1024 pulzy a představuje objem 0.48 l. Smyčka kontrolující průtok je spuštěna každých 0,1 s. Maximální počet pulzů mezi průchody smyčkou tedy je 533,3 pulzů.

5.9 Snímač ATC

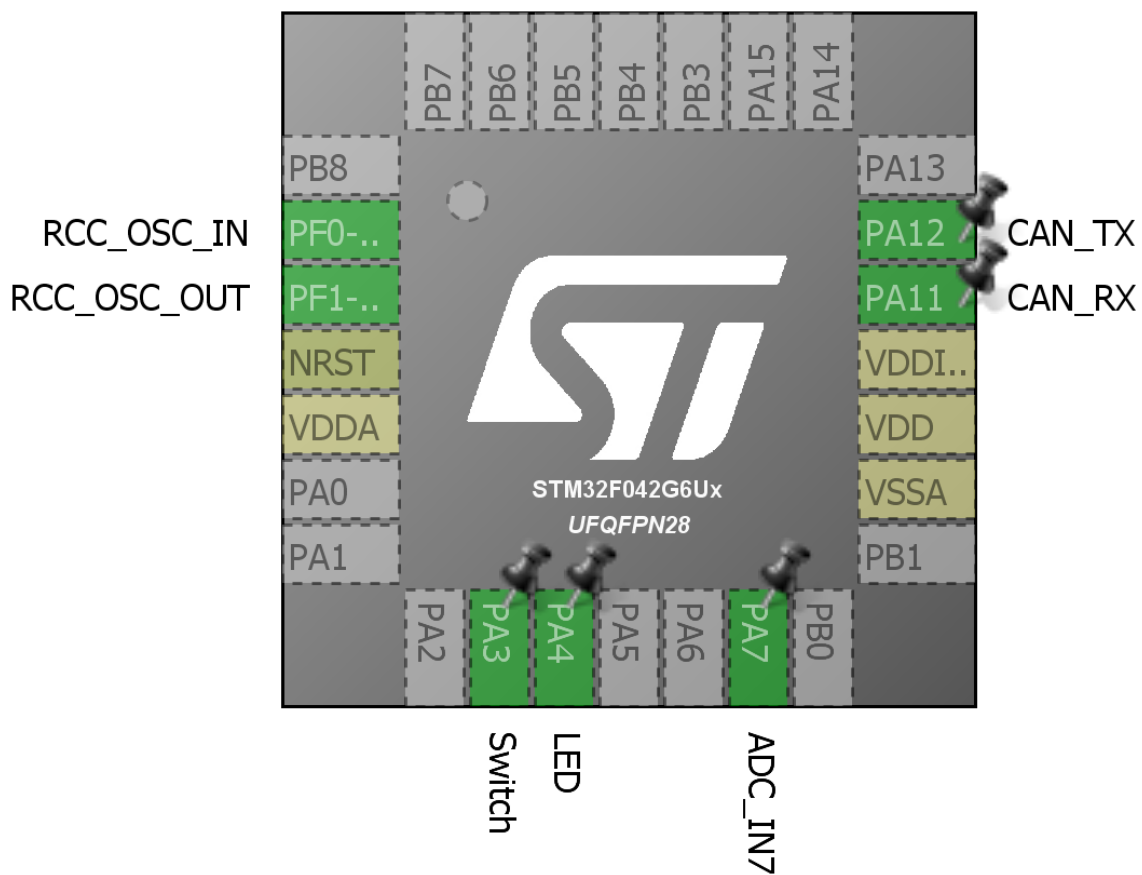


Obr. 27. Blokové schéma snímače ATC

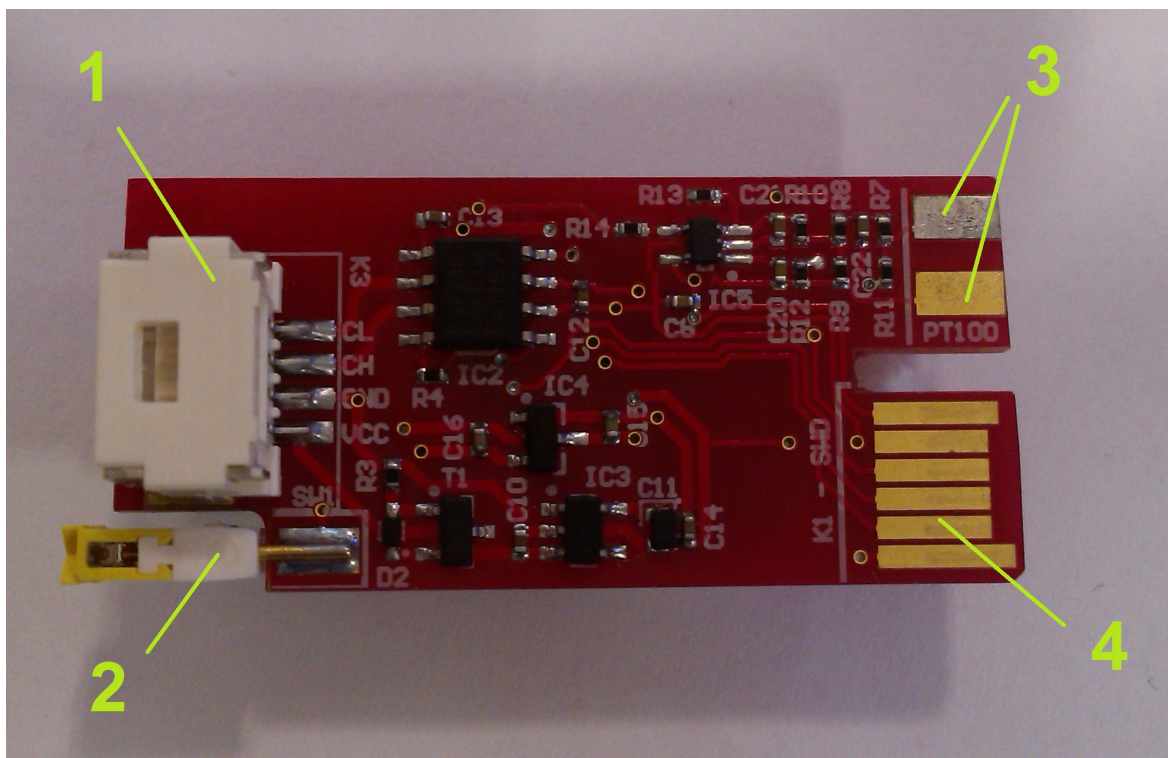
5.9.1 Využití pinů

Využití pinů použitého procesoru:

- PA11: RX signál CAN
- PA12: TX signál CAN
- PA3: přepínač sloužící pro zapnutí a vypnutí kalibračního režimu, pin nastaven jako přerušení z externího zdroje
- PA4: LED pro indikaci kalibračního režimu, pin nastaven jako GPIO Output
- PA7: výstup měřícího můstku

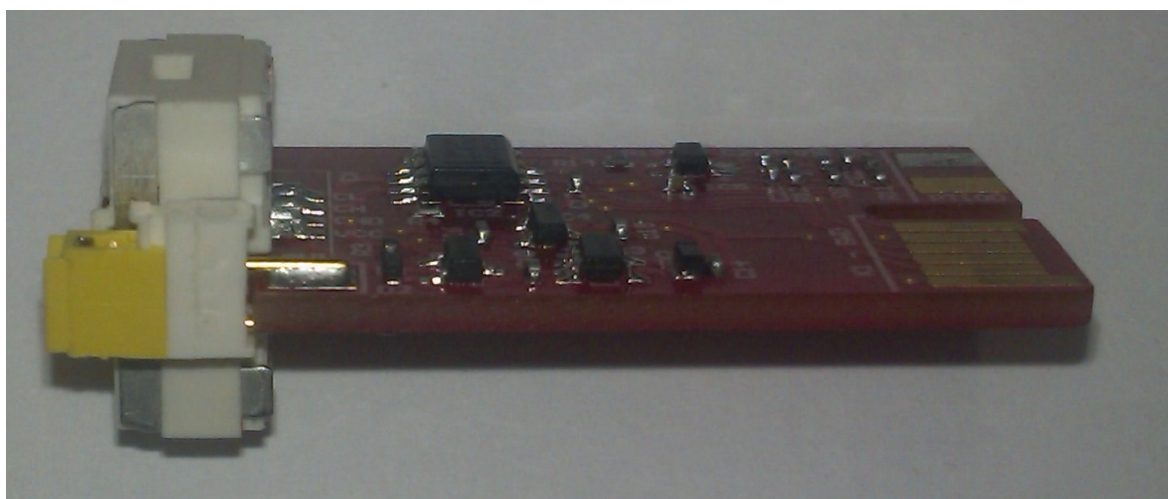


Obr. 28. Screenshot aplikace CubeMX znázorňující využití pinů snímače ATC



Obr. 29. DPS snímače ATC

1- konektor pro připojení k větvi měřících členů, 2 – přepínač pro spuštění kalibračního režimu, 3 – pájecí plochy pro připojení senzoru PT100, 4 – programovací konektor



Obr. 30. Boční pohled na snímač ATC

5.9.2 Registry snímače ATC

Tab. 4. Registry snímače ATC

Název registru	Popis funkce
measure_interval_reg	interval měření teploty

<i>Název registru</i>	<i>Popis funkce</i>
auto_transmit_reg	určuje, zda nově naměřené hodnoty mají být odeslány automaticky
last_temperature_reg	poslední naměřená hodnota teploty ve °C
calibration_enabled_reg	registru nesoucí informaci o stavu kalibrace
cmd_raw_low_reg	příkazový registr pro započítání měření prvního kalibračního koeficientu
cmd_raw_high_reg	příkazový registr pro započítání měření druhého kalibračního koeficientu
raw_low_value_reg	hodnota prvního kalibračního koeficientu
raw_high_value_reg	hodnota druhého kalibračního koeficientu
offset_reg	hodnota třetího kalibračního koeficientu

5.9.3 Postup měření kalibračních koeficientů

Postup kalibrace ve výrobě je následující:

1. Připojit snímač bez připojeného senzoru PT100 k počítači s adaptérem CAN Probe a aplikací CAN Probe Monitor.
2. Nastavit přepínač kalibrace na DPS snímače do polohy aktivní kalibrace.
3. Přiložit na kontakty pro senzor první kalibrační odpor.
4. V aplikaci CAN Probe Monitor stisknout tlačítko „calibration start low“ a počkat na dokončení měření. To je indikováno aktualizací odpovídajícího registru, který můžeme sledovat např. Pomocí ukazatele „raw low value“.
5. Pokud hodnota neodpovídá, např. z důvodu nedostatečného kontaktu senzoru se snímačem, provést bod 4 znova.
6. Provést body 3 až 5 s druhým kalibračním odporem, měření spustit tlačítkem „calibration start high“
7. Nastavit přepínač kalibrace do původní polohy.

6 TESTOVÁNÍ FUNKCE KOMPONENT

6.1 Impulsér

Testování impulséru proběhlo ve výrobě u zadavatele, kde bylo využito pracoviště pro kalibraci aktuálně používaných impulsérů. Zkušebním okruhem jsme nechali protéct testovací objem, který byl odměřen cejchovanou nádobou. Toto měření bylo provedeno třikrát, s maximálním možným průtokem, polovičním průtokem a nízkým průtokem. Rozdíl naměřeného objemu vůči etalonu byl ve všech případech menší než 0,5 %.

6.2 Snímač ATC

Snímač byl testován vůči referenčnímu cejchovanému teploměru zadavatele. Proběhlo měření vody při třech různých teplotách, 10, 50 a 80 °C. Hodnoty byly porovnány. Ve všech případech byl rozdíl nižší než 0,5 °C.

ZÁVĚR

Teoretická část popisuje v současné době používané měřiče vydaného množství různých typů paliv pro čerpací stanice. Z objemových měřičů jsou popsány průtokoměry turbínkové, pístové a s ozubenými koly, z hmotnostních měřičů je popsán Coriolisův průtokoměr. Každý měřič je popsán z hlediska funkce, jeho výhod a je doplněn odkazem na výrobce, který jej ve svých stojanech k výdeji paliva používá.

V kapitole analýzy požadavků jsou specifikovány a vysvětleny požadavky zadavatele na vyvíjená zařízení. Jsou zde vysvětleny pojmy impulsér, teplotní kompenzace (ATC), konstanta. Dále je zde také popsán zadavatelem poskytnutý hydraulický monoblok, pro který je impulsér navrhován. Rovněž je zde vysvětlen požadavek na kalibraci obou zařízení.

Samostatná kapitola je věnována magnetickému převodníku natočení. Byl použit integrovaný obvod ams AG AS5050. Kapitola popisuje komunikaci s převodníkem, jeho registry a možnosti připojení k řídicímu procesoru.

Kapitola SW architektury popisuje, jakým způsobem je možné připojit dílčí komponenty systému k řídicí jednotce.

Pátá kapitola popisuje význačné části implementace. Jsou popsány jak registry společné, které musí obsahovat každé připojené zařízení, tak registry specifické pro impulsér a snímač teplotní kompenzace. Zařízení jsou také popsána blokovým diagramem a popisem použitých pinů. Jsou zde rovněž popsány technologie a nástroje, které byly při vývoji použity.

Poslední kapitola popisuje metody použité pro otestování funkcionality zařízení. Požadavky zadavatele na impulsér a snímač teplotní kompenzace byly splněny jak z hlediska funkcionality, tak z hlediska přesnosti. Práce v tomto projektu nyní pokračují vývojem dalších komponent stojanu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] YIU, J. The Definitive Guide to ARM® Cortex®-M0 and Cortex-M0+ Processors. 2nd Edition. San Diego, United States: Elsevier Science Publishing Co, 2015. ISBN 9780128032770.
- [2] SLOSS, A., D. SYMES a Ch. WRIGHT. ARM System Developers Guide. Elsevier, 2004. ISBN 1-55860-874-5.
- [3] VALVANO, J. W. Embedded Systems: Real-Time Interfacing to Arm CortexM(TM)-M Microcontrollers. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2011. ISBN 978-1463590154.
- [4] VALVANO, J. W. Embedded Systems: Introduction to ARM Cortex-M Microcontrollers. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013. ISBN 978-1477508992.
- [5] VALVANO, J. W. Embedded Systems: Real-Time Operating Systems for the ARM Cortex-M Microcontrollers. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2012. ISBN 978-1466468863.
- [6] SEAL, D. ARM Architecture Reference Manual. Addison-Wesley, 2001. ISBN 978-0201737196.
- [7] SLOSS, A., D. SYMES a C. WRIGHT. ARM System Developers Guide. Morgan Kaufmann, 2004. ISBN 978-1558608740.
- [8] HRUŠKA, František. Technické prostředky integrované automatizace. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012. ISBN 978-80-7454-234-3.
- [9] HRUŠKA, František. Senzory: Fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití. Druhé, rozšířené. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. ISBN 978-80-7454-096-7.
- [10] AS5050A-QF_EK_AB ams. DigiKey Electronics [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://www.digikey.com/product-detail/en/ams/AS5050-AB/AS5050-AB-ND/3828332>
- [11] AS5050: Low Power 10-Bit Magnetic Rotary Encoder. Revision 1.16. Dostupné také z: http://www.mouser.com/ds/2/588/AS5050_Datasheet_v1-16-276553.pdf
- [12] AS5050 / AS5055 Programmable Magnetic Rotary Encoder: Adapterboard OPERATION MANUAL. Revision 1.1. 2010. Dostupné také z:

- http://www.mouser.com/ds/2/588/AS5050_Adapterboard%20Operation%20Manual_v1_1-948137.pdf
- [13] NUCLEO-F042K6 STMicroelectronics. In: DigiKey Electronics: Electronic Components Distributor [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: www.digikey.com/product-detail/en/STMicroelectronics/NUCLEO-F042K6/497-15980-ND/5428804
- [14] Xflo Fuel Meter. Wayne Fueling Systems [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://wayne.com/en/products/xflo-fuel-meter/>
- [15] Krohne OPTIMASS 6000 Coriolis Mass Flow Meter. Instrumart [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://www.instrumart.com/products/40470/krohne-optimass-6000-coriolis-mass-flow-meter>
- [16] VSE Volumentchnik GmbH [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.vse-flow.com/news-en.html>
- [17] HORN TECALEMIT - PIUSI - Neveřejné stanice. GIA.cz [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: http://www.gia.cz/30_100007-horn-tecalemit-piusy-neverejne-stanice
- [18] PRŮTOKOMĚR TURBÍNOVÝ K24 EX PIUSI. TRASO s.r.o. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.traso.cz/katalog-produktu/skladovani-a-vydej-benzinu/prislusenstvi-1/prutokomer-turbinovy-k24-ex-piusi-detail>
- [19] PRŮTOKOMĚR DIGITÁLNÍ K24 PIUSI. TRASO s.r.o. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.traso.cz/katalog-produktu/skladovani-a-vydej-nafty/prutomery/prutokomer-turbinovy-k24-piusi-detail>
- [20] Měření průtoku a proteklého množství. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: Ústav počítačové a řídicí techniky [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k45-prut.htm>
- [21] KREJČÍ, Martin. Návrh průtokového měřiče paliva. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Jiří Dvořáček.
- [22] Automatická teplotní kompenzace – proč? Petrol [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.petrolmedia.cz/aktuality/archiv/2015/12/automaticka-teplotni-kompenzace-proc-4946.aspx>
- [23] Výdejní stojany OCEAN Euro CNG. TATSUNO EUROPE a.s. [online]. [cit. 2017-

05-15]. Dostupné z: <http://www.tatsuno-europe.com/vydejni-stojany-ocean-euro-cng.html>

- [24] STM32F042G6. STMicroelectronics [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://www.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32f0-series/stm32f0x2/stm32f042g6.html
- [25] ST-LINK/V2. STMicroelectronics [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.st.com/en/development-tools/st-link-v2.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ADC	Analog to Digital Converter
AGC	Automatic Gain Control
ATC	Automatic Temperature Compensation
CAN	Controller Area Network
DPS	Deska plošných spojů
FW	Firmware
HB	Heartbeat
I ² C	Inter Integrated Circuit
LCD	Liquid Crystal Display
LSB	Least Significant bit
MISO	Master In Slave Out
MOSI	Master Out Slave In
MSB	Most Significant Bit
PCB	Printed Circuit Board
RTC	Real Time Clock
SCK	Serial Clock
SPI	Serial Peripheral Interface
SW	Software
QFN	Quad Flat No-leads

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schéma turbínkového průtokoměru [8].....	11
Obr. 2. Průtokoměr s ozubenými koly [16].....	13
Obr. 3. Pistový průtočný měřič M 403.25P [21].....	14
Obr. 4. Schéma Coriolisova průtokoměru [8].....	15
Obr. 5. Coriolisův průtokoměr [15].....	16
Obr. 6. Víko impulséru pro hydraulický monoblok.....	19
Obr. 7. Pohled na magnet impulséru - víko hydraulického monobloku.....	20
Obr. 8. Pouzdro snímače ATC.....	22
Obr. 9: Blokové schéma obvodu AS5050.....	24
Obr. 10: AS5050 demoboard [10].....	25
Obr. 11: STM32F042 Evaluation Board [13].....	25
Obr. 12. Schéma znázorňující ideální umístění magnetu vůči obvodu AS5050 [12].....	28
Obr. 13. Graf závislosti chyby měření na umístění magnetu vůči čipu[11].....	29
Obr. 14: Blokové schéma stojanu.....	31
Obr. 15. Simulátor výdejního stojanu.....	32
Obr. 16. Programátor ST-LINK/V2 [25].....	33
Obr. 17. Ukázka konfigurace pinů pomocí aplikace CubeMX.....	34
Obr. 18. Konfigurace periférií procesoru pomocí nástroje CubeMX.....	35
Obr. 19. Screenshot aplikace CubeMX zobrazující nastavení hodinových signálů.....	36
Obr. 20. Převodník CAN Probe.....	37
Obr. 21. Screenshot aplikace CAN Probe Monitor.....	37
Obr. 22. Pohled na DPS impulséru.....	38
Obr. 23. Blokové schéma impulséru.....	39
Obr. 24. Vývojový diagram funkce zpracovávající kladné otočení.....	41
Obr. 25. Vývojový diagram funkce zpracovávající záporné otočení.....	43
Obr. 26. Blokové schéma snímače ATC.....	46
Obr. 27. DPS snímače ATC.....	47
Obr. 28. Boční pohled na snímač ATC.....	48

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.Registr chybových příznaků [11].....	27
Tab. 2. Obecné registry.....	33
Tab. 3.Registry impulséru.....	40
Tab. 4. Registry snímače ATC.....	48