

Bakalárska práca



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra měření

Základní měřicí přístroje pro výukové laboratoře, realizované mikrořadičem

Matúš Obrk
Kybernetika a robotika

Máj 2019

Vedúci práce: doc. Ing. Jan Fischer, CSc.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Obrk** Jméno: **Matůš** Osobní číslo: **466051**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra měření**
Studijní program: **Kybernetika a robotika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Základní měřicí přístroje pro výukové laboratoře, realizované mikrořadičem

Název bakalářské práce anglicky:

Microcontroller Based Basic Measurement Instruments for Teaching Labs

Pokyny pro vypracování:

Navrhnete a s použitím mikrořadičů řady STM32Fxxx realizujete základní měřicí přístroje pro hromadné využití ve výukových laboratořích. Orientujte se na řešení metodou softwarové definovaných přístrojů s maximálním využitím vnitřních obvodových prostředků mikrořadičů s minimální potřebou vnějších obvodů. Ovládání přístrojů a zobrazení výsledků bude pomocí terminálové aplikace běžící na počítači typu PC, k němuž budou přístroje prostřednictvím rozhraní USB připojeny. Alternativní ovládání bude pomocí lokálních tlačítek se signalizací prostřednictvím LED. Pro realizaci přístrojů typu voltmetr, čítač, generátor, ohmmetr, impulsní generátor, zdroj nastavitelného napětí,... preferujte především mikrořadiče STM32F042 a kity Nucleo STM32F303RE. Zpracujte použitou metodiku a příklady programů tak, aby výsledky práce mohly sloužit jako základ pro tvorbu podobných přístrojů dalšími studenty.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Yiu, J.: The Definitive Guide to ARM Cortex-M0 and Cortex-M0+ processors
- [2] STMicroelectronics: RM0091 STM32F0x2 Reference manual
- [3] STMicroelectronics: DS10147 STM32F042 Data

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Jan Fischer, CSc., katedra měření FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **31.01.2019** Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2019**

Platnost zadání bakalářské práce:
do konce letního semestru 2019/2020

doc. Ing. Jan Fischer, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Prehlásenie

Prehlasujem, že som samostatne vypracoval predloženú prácu s názvom „Základní měřicí přístroje pro výukové laboratoře, realizované mikrořadičem.“ Ďalej prehlasujem, že som uviedol všetky použité informačné zdroje v súlade s Metodickým pokynom o dodržiavaní etických princípov pri príprave vysokoškolských záverečných prác.

V Prahe 24. 5. 2019

.....



Pod'akovanie

V prvom rade by som sa chcel poďakovať doc. Ing. Janovi Fischerovi, CSc. za pomoc pri vedení bakalárskej práce, za jeho podnetné pripomienky a cenné rady pri praktickej i teoretickej časti. Taktiež by som chcel poďakovať svojej priateľke a rodine za ich podporu počas celého štúdia.

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom a realizáciou základných meracích prístrojov pre hromadné využitie vo výukových laboratóriách. Pri návrhu meracích prístrojov je využitá metóda softvérovo definovaných prístrojov. Prístroje sú realizované na mikrokontroléroch rady STM32 s maximálnym využitím ich vnútorných obvodových prvkov. Ovládanie prístrojov a zobrazovanie dát je realizované pomocou nadradeného PC s využitím terminálových aplikácií. Prístroje sú pripojené k PC prostredníctvom rozhrania USB. V rámci práce sú realizované meracie prístroje ako voltmeter, ohmmeter, logická sonda, čítač frekvencie, impulzný generátor a záznamník dát pre meranie napätia. Súčasťou práce je spracovaná metodika tvorby grafického rozhrania terminálovej aplikácie a návrhu softvérovo definovaných prístrojov.

Kľúčové slová: základné meracie prístroje, softvérovo definované prístroje, terminálová aplikácia, ANSI escape sekvencie, STM32, mikrokontrolér

Abstract

Bachelor thesis deals with a design and implementation of basic measurement instruments for mass use in training laboratories. Design of the measurement instruments is based on method of software defined instruments. The measurement instruments are implemented on microcontrollers STM32 with a maximum use of their internal peripherals. Operating of instruments and data display is made by a PC with a use of terminal applications. The instruments are connected to the PC by USB interface. The work includes implementation of measurement instruments such as a voltmeter, ohmmeter, logic probe, frequency counter, impulse generator and a data logger to measure voltage. A part of the thesis presents processed methodology of creating of graphical interface of terminal application and design of software defined instruments.

Keywords: basic measurement instruments, software defined instruments, terminal application, ANSI escape code, STM32, microcontroller

Title translation: Microcontroller Based Basic Measurement Instruments for Teaching Labs

Obsah

| | |
|--|----|
| 1 Úvod | 1 |
| 2 Rozbor zadania | 2 |
| 2.1 Základné meracie prístroje | 2 |
| 2.2 Softvérovo definované prístroje | 3 |
| 2.3 Terminálové aplikácie | 3 |
| 2.4 Základné meracie prístroje | 4 |
| 2.4.1 Voltmeter | 4 |
| 2.4.2 Ohmmeter | 4 |
| 2.4.3 Logická sonda | 4 |
| 2.4.4 Impulzný generátor | 4 |
| 2.4.5 Čítač frekvencie | 4 |
| 3 Mikronroléry rady STM32 | 5 |
| 3.1 Mikrokontrolér STM32F042F6 | 5 |
| 3.2 Mikrokontrolér STM32F303RE | 5 |
| 3.3 Periférie mikrokontrolérov STM32 | 6 |
| 3.4 AD prevodníky v STM32 | 6 |
| 3.5 Čítače v STM32 | 7 |
| 3.6 Periféria USART v STM32 | 7 |
| 3.7 USB periféria | 8 |
| 3.8 Vývojový kit NUCLEO-F303RE | 8 |
| 3.9 Zapojenie obvodu s STM32F042F6 | 9 |
| 3.10 Vývoj firmvéru pre STM32 | 9 |
| 3.10.1 Vývojový nástroj STM32CubeMX | 9 |
| 3.10.2 STM32 HAL API | 10 |
| 3.10.3 STM32 Low Layer API | 11 |
| 3.10.4 Vývojové prostredie Keil MDK | 11 |
| 3.10.5 Vývojové prostredie Atollic TrueStudio | 11 |
| 3.10.6 STM32CubeProgrammer | 11 |
| 4 Terminálové aplikácie | 12 |
| 4.1 Terminál | 12 |
| 4.2 Terminálový emulátor | 12 |
| 4.3 Vybrané terminálové emulátory | 13 |
| 4.3.1 Terminálový emulátor Putty | 13 |
| 4.3.2 Terminálový emulátor TeraTerm | 13 |
| 4.3.3 Terminálový emulátor Xterm | 13 |
| 4.4 Zobrazovanie pomocou terminálu | 13 |
| 4.5 ANSI escape sekvencie | 14 |
| 4.5.1 Umiestnenie kurzoru | 15 |
| 4.5.2 Nastavenie grafického módu | 15 |
| 4.6 Tvorba užívateľského rozhrania | 17 |
| 4.6.1 Elementárne nastavenie parametrov | 17 |
| 4.6.2 Číselné zadávanie parametrov | 18 |
| 4.6.3 Grafické zobrazanie hodnôt | 18 |
| 4.6.4 Emulovanie kurzoru v terminálovej aplikácii | 18 |
| 5 Metodika tvorby softvérovo definovaných meracích prístrojov | 20 |
| 5.1 Funkčné bloky softvérovo definovaných meracích prístrojov | 20 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.2 | Komunikačné rozhranie | 21 |
| 5.2.1 | Komunikačné rozhranie STM32F042 | 21 |
| 5.2.2 | Komunikačné rozhranie STM32F303 | 22 |
| 5.3 | Spracovanie dát a riadenie prístroja | 22 |
| 5.4 | Meracia časť | 22 |
| 6 | Realizácia meracích prístrojov | 23 |
| 6.1 | Voltmeter | 23 |
| 6.1.1 | Meranie napätia | 23 |
| 6.1.2 | Vnútoraná referencia mikroprocesoru STM32F042F6 | 24 |
| 6.1.3 | Užívateľské rozhranie meracieho prístroja voltmeter | 24 |
| 6.1.4 | Merací prístroj voltmeter pre STM32F303RE | 24 |
| 6.2 | Data logger | 26 |
| 6.2.1 | Užívateľské rozhranie prístroja data logger | 26 |
| 6.3 | Merací prístroj ohmmeter | 27 |
| 6.3.1 | Užívateľské rozhranie meracieho prístroja ohmmeter | 28 |
| 6.4 | Logická sonda | 28 |
| 6.4.1 | Implementácia logickej sondy | 30 |
| 6.4.2 | Užívateľské rozhranie prístroja logická sonda | 30 |
| 6.5 | Čítač frekvencie | 31 |
| 6.5.1 | Implementácia čítača frekvencie | 32 |
| 6.5.2 | Užívateľské rozhranie čítača frekvencie | 32 |
| 6.6 | Impulzný generátor | 33 |
| 6.6.1 | Užívateľské rozhranie impulzného generátora | 34 |
| 7 | Zhrnutie dosiahnutých výsledkov | 36 |
| 7.1 | Voltmeter | 36 |
| 7.2 | Voltmeter s nastaviteľným zdrojom napätia | 36 |
| 7.3 | Záznamník dát pre meranie napätia | 36 |
| 7.4 | Logická sonda | 36 |
| 7.5 | Generátor impulzného signálu | 37 |
| 7.6 | Čítač frekvencie | 37 |
| 7.7 | Dostupnosť programov | 37 |
| 8 | Záver | 38 |
| | Literatúra | 39 |
| A | Nahrávanie programu do mikrokontroléru | 41 |
| B | Obsah priloženého CD | 42 |
| C | Použité skratky | 43 |

Obrázky

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1. | Ideová schéma meracieho prístroja. | 2 |
| 2.2. | Digitálny multimeter HP 34401A. | 2 |
| 2.3. | Ideová schéma softvérovo definovaného prístroja. | 3 |
| 3.1. | Bloková schéma mikrontroléru s jadrom Cortex-M0. | 5 |
| 3.2. | Schéma AD prevodníku. | 6 |
| 3.3. | Bloková schéma periférie Timer. | 7 |
| 3.4. | Vývojový kit Nucleo. | 8 |
| 3.5. | Schéma zapojenia obvodu s STM32F042F6. | 9 |
| 3.6. | Grafické prostredie nástroja STM32CubeMX. | 10 |
| 4.1. | Grafické rozhranie terminálového emulátoru. | 12 |
| 4.2. | Zobrazenie základného bodu. | 15 |
| 4.3. | Interpretácia farieb terminálom Putty. | 16 |
| 4.4. | Grafické zobrazenie logickej úrovne. | 18 |
| 5.1. | Bloková schéma softvérovo definovaných meracích prístrojov. | 20 |
| 5.2. | Bloková schéma komunikačného rozhrania STM32F042F6. | 21 |
| 5.3. | Bloková schéma komunikačného rozhrania STM32F303. | 22 |
| 6.1. | Bloková schéma prístroja voltmeter. | 23 |
| 6.2. | Grafické rozhranie prístroja voltmeter. | 24 |
| 6.3. | Bloková schéma prístroja voltmeter pre STM32F303RE. | 25 |
| 6.4. | Grafické rozhranie prístroja voltmeter pre STM32F303. | 26 |
| 6.5. | Grafické rozhranie prístroja data logger. | 27 |
| 6.6. | Schéma zapojenia merania odporu. | 27 |
| 6.7. | Grafické rozhranie prístroja ohmmeter. | 28 |
| 6.8. | Bloková schéma logickej sondy. | 29 |
| 6.9. | Umiestnenie vstupov a výstupov logickej sondy. | 30 |
| 6.10. | Grafické rozhranie prístroja logická sonda. | 31 |
| 6.11. | Princíp priamej metódy merania frekvencie. | 32 |
| 6.12. | Bloková schéma merania frekvencie. | 32 |
| 6.13. | Grafické rozhranie čítača frekvencie. | 33 |
| 6.14. | Bloková schéma impulzného generátora. | 33 |
| 6.15. | Grafické rozhranie impulzného generátora. | 35 |



Tabuľky

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1. | Základné ASCII znaky pre formátovanie textu | 13 |
| 4.2. | Znak ESC | 14 |
| 4.3. | Príklady escape sekvencií | 14 |
| 4.4. | Príklad sekvencie s využitím CSI..... | 14 |
| 4.5. | Sekvencia pre umiestnenie kurzoru | 15 |
| 4.6. | ANSI sekvencie pre posun kurzoru | 15 |
| 4.7. | Príklad sekvencie pre zmenu grafického módu | 15 |
| 4.8. | Základné farby terminálu | 16 |
| 4.9. | Nastavenie farby (8-bitový formát)..... | 16 |
| 4.10. | Nastavenie farby vo formáte RGB..... | 17 |
| 4.11. | ANSI sekvencie pre mazanie obrazovky | 17 |
| 6.1. | Ovládanie prístroja voltmeter | 25 |
| 6.2. | Ovládanie prístroja voltmeter pre STM32F303..... | 25 |
| 6.3. | Ovládanie prístroja logická sonda | 31 |
| 6.4. | Ovládanie prístroja logická sonda „Pull“ móde..... | 31 |
| 6.5. | Ovládanie impulzného generátora | 35 |
| 7.1. | Prehľad realizovaných prístrojov | 37 |

Kapitola 1

Úvod

Pre výuku laboratórnych cvičení je potrebné množstvo laboratórnych prístrojov na meranie rôznych veličín a parametrov. Vo výučbe predmetov zaoberajúcich sa elektrickými obvodmi alebo prístrojovou technikou sa využívajú prístroje ako voltmeter, ohmmeter, osciloskop, čítač frekvencie a podobne. Pre hromadnú výuku je potrebné, aby všetci študenti mali jednoduchý prístup k týmto zariadeniam. Profesionálne meracie prístroje sú veľmi nákladné a výukové laboratória trpia ich nedostatkom. Vo väčšine prípadov sú laboratórne úlohy pre žiakov koncipované jednoducho a nie je nutné disponovať presnými profesionálnymi meracími prístrojmi. Konvenčné meracie prístroje je pre tieto účely možné nahradiť pomocou softvérovo definovaných prístrojov s využitím mikrokontrolérov.

Táto práca si preto kladie za cieľ realizovať základné meracie prístroje ako voltmeter, ohmmeter, čítač frekvencie, generátor impulzného signálu a iné, ktoré sa bežne používajú v laboratórnej výuke. Prístroje budú realizované na mikrokontroléroch rady STM32. Zamerané budú na mikrokontroléry STM32F042F6 a STM32F303RE, ktoré sú bežne dostupné. Ich obstarávacia cena je nízka a už teraz sa používajú vo výuke. Meracie prístroje budú realizované metódou softvérovo definovaných prístrojov a pre komunikáciu s PC budú využívať rozhranie USB. Zobrazovanie výsledkov a ovládanie prístrojov bude zabezpečené prostredníctvom terminálovej aplikácie bežiacej na PC. Táto metóda umožňuje vytvoriť prístroje formátu „Plug and Play“, pri ktorých nie je potrebné, aby merací prístroj disponoval vlastnou PC aplikáciou. Pre ovládanie a zobrazovanie dát z prístroja postačuje terminálový emulátor, ktorým disponuje väčšina operačných systémov.

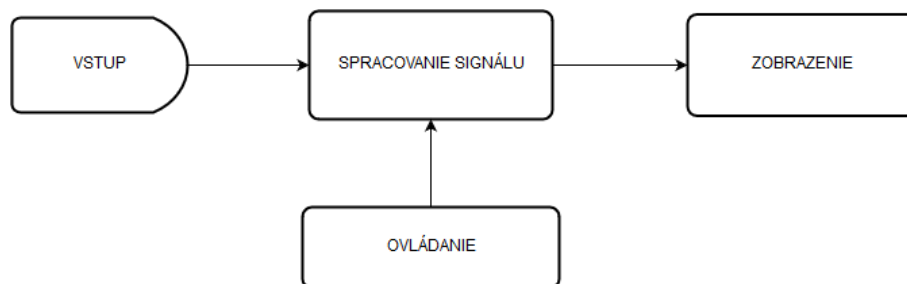
Ďalším cieľom je spracovať použitú metodiku a ozrejmiť metódy tvorby terminálovej aplikácie tak, aby mohli slúžiť ako základ a návod pre tvorbu podobných prístrojov.

Kapitola 2

Rozbor zadania

2.1 Základné meracie prístroje

Laboratórne meracie prístroje slúžia na meranie rôznych veličín a parametrov. Konvenčné meracie prístroje sa štandardne skladajú zo vstupov, vyhodnocovacej logiky, ovládacích prvkov a zobrazovačov. Na vstup je privedený vstupný signál, ktorý je vo väčšine prípadov vo forme napätia. Signál môže byť prevedený na digitálnu hodnotu pomocou AD prevodníku. Následne je podľa potreby spracovaný a údaje sú zobrazené na zobrazovači, ktorý je zvyčajne vo forme LCD displeja alebo 7-segmentového displeja.



Obrázok 2.1. Ideová schéma meracieho prístroja.

Na nasledujúcom obrázku je možné vidieť digitálny multimeter HP 34401A, ktorý je používaný v laboratórnych cvičeniach pri výuke. Podobnú konštrukciu majú aj iné laboratórne prístroje napr. čítač frekvencie, zdroj napätia a iné. Tieto prístroje patria k základným nástrojom pre prácu a výuku v laboratóriách. Ich cena je však vysoká, pretože patria k profesionálnym nástrojom so špičkovými parametrami a preto sa vo výukových laboratóriách nachádzajú v obmedzenom množstve. Pri laboratórnej výuke sa študenti oboznamujú so základnými princípmi a vykonávajú základné merania. Z tohto dôvodu nie je potrebná veľká presnosť prístrojov a pre väčšinu meraní sú tieto prístroje predimenzované.



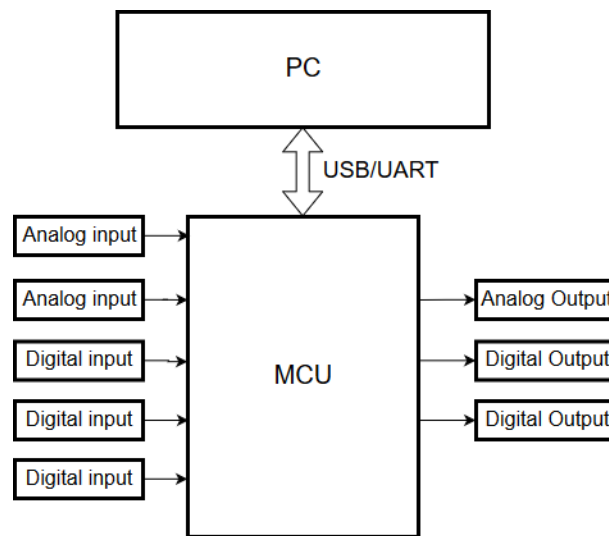
Obrázok 2.2. Digitálny multimeter HP 34401A.

Digitálny multimeter HP 34401A a iné podobné multimetre dokážu merať niekoľko rôznych veličín. Medzi tieto veličiny patria jednosmerné napätie, striedavé napätie, elektrický prúd, odpor, frekvencia, atď. Spracovanie nameraných dát je možné niekoľkými

spôsobmi. Jedným z nich je spracovať dáta priamo v prístroji a následne ich nechať zobraziť na displeji. Ďalšia možnosť je prepojenie prístroja s PC. V minulosti sa používali k pripojeniu k PC najmä rozhrania RS232 alebo GPIB. V súčasnosti väčšina zariadení môže byť pripojená k PC prostredníctvom rozhrania USB alebo LAN. Pre správne fungovanie je potrebné aby PC disponoval kompatibilným softvérom na prenos a spracovanie dát z prístroja. Výrobcovia taktiež ponúkajú možnosť ovládať zariadenie prostredníctvom PC aplikácie. PC softvér pre ovládanie prístroja a spracovanie dát z meracieho prístroja často býva ponúkaný ako nadštandardná služba, ktorá nie je súčasťou ceny zariadenia. Ako nevýhoda sa môže javiť jeho kompatibilita s operačným systémom používateľa. Vo veľkom množstve prípadov nie je dostupný pre Linuxové distribúcie.

2.2 Softvérovo definované prístroje

Pre nahradenie konvenčných prístrojov môžeme využiť metódu softvérovo definovaných prístrojov. Metóda spočíva v nahradení meracích častí mikrokontrolérom, ktorý slúži na spracovanie vstupného signálu. Následne sú namerané dáta spracované priamo v prístroji alebo s využitím nadradeného PC, ktorý slúži pre zobrazovanie meraných dát a ovládanie prístroja. Pre realizáciu meracích prístrojov je nutné, aby zariadenie obsahovalo AD prevodník. Pre meranie frekvencie je potrebné počítať pulzy, k čomu slúži napríklad čítač. Ďalej je potrebné zaistiť komunikáciu s nadradeným PC, ktorý môže prebiehať prostredníctvom sériovej linky alebo USB.



Obrázok 2.3. Ideová schéma softvérovo definovaného prístroja.

Na tvorbu meracích prístrojov budú použité mikrokontroléry STM32, ktoré disponujú potrebnými perifériami na meranie a perifériami pre komunikáciu s nadradeným PC. Tieto mikroprocesory sa využívajú aj vo výuke embedded systémov a v laboratóriách priemyselnej elektrotechniky[1] na Elektrotechnickej fakulte ČVUT.

2.3 Terminálové aplikácie

Softvérovo definované nástroje využívajú pre ovládanie a zobrazovanie aplikáciu, ktorá je väčšinou vo forme grafického užívateľského rozhrania. Tieto aplikácie využívajú na komunikáciu so zariadením vlastný protokol, čo obmedzuje pridávanie ďalších funkcionalít. Pri tvorbe aplikácie sa naráža na problém s kompatibilitou medzi jednotlivými operačnými

systémami. Aplikácie sú väčšinou tvorené len pre jeden operačný systém a ich prenos na iný operačný systém je obtiažný. Pre základné meracie prístroje nie je potrebné zložité zobrazovacie rozhranie, pretože väčšinou zobrazujeme iba hodnotu, trend alebo stav. Z týchto dôvodov je možné pre zobrazovanie a riadenie zvoliť terminálový emulátor. Terminálovým emulátorom disponujú najrozšírenejšie operačné systémy a preto nenastáva problém s kompatibilitou. Mnoho z týchto terminálov podporuje ANSI escape sekvencie, ktoré umožňujú zmeniť nastavenie a správanie terminálu. Pomocou ANSI sekvencií je možné klasický terminál upraviť do užívateľsky prívetivejšieho prostredia a vytvoriť pseudografické užívateľské prostredie.

2.4 Základné meracie prístroje

Táto práca je zameraná na realizáciu základných meracích prístrojov s využitím vnútorných obvodových prvkov mikrokontroléru. Cieľom je realizácia nasledujúcich základných meracích prístrojov, ktoré sa bežne využívajú v laboratórnej výuke.

2.4.1 Voltmeter

Voltmeter je základný merací prístroj určený k presnému meraniu napätia. Digitálne voltmetre a multimetre používajú pre meranie napätia AD prevodník. Pri tvorbe softvérového definovaného voltmetru je možné využiť AD prevodník, ktorým mikrokontroléry zvyčajne disponujú.

2.4.2 Ohmmeter

Ohmmeter slúži na určenie neznámeho odporu. Konvenčné prístroje využívajú viacero metód pre meranie odporu. Pri tvorbe softvérového definovaného ohmmetru je možné využiť porovnávaciu metódu merania odporu.

2.4.3 Logická sonda

Logická sonda je nástroj určený na testovanie a demonštráciu logických obvodov. Sonda umožňuje čítať a zobrazovať logický stav výstupov testovaného logického obvodu alebo nastaviť logický stav na jeho vstupoch.

2.4.4 Impulzný generátor

Impulzný generátor slúži na generovanie obdĺžnikového signálu s premennou frekvenciou a striedou. Ekvivalent tohto signálu je pulzno-šírková modulácia (PWM).

2.4.5 Čítač frekvencie

Čítač frekvencie je určený k meraniu frekvencie vstupného signálu. Pre meranie frekvencie je možné využiť priamu alebo nepriamu metódu. Pri priamej metóde je počítaný počet pulzov za určitú periódu. Nepriama metóda meria periódu meraného signálu. Následne určí frekvenciu pomocou nameranej periódy.

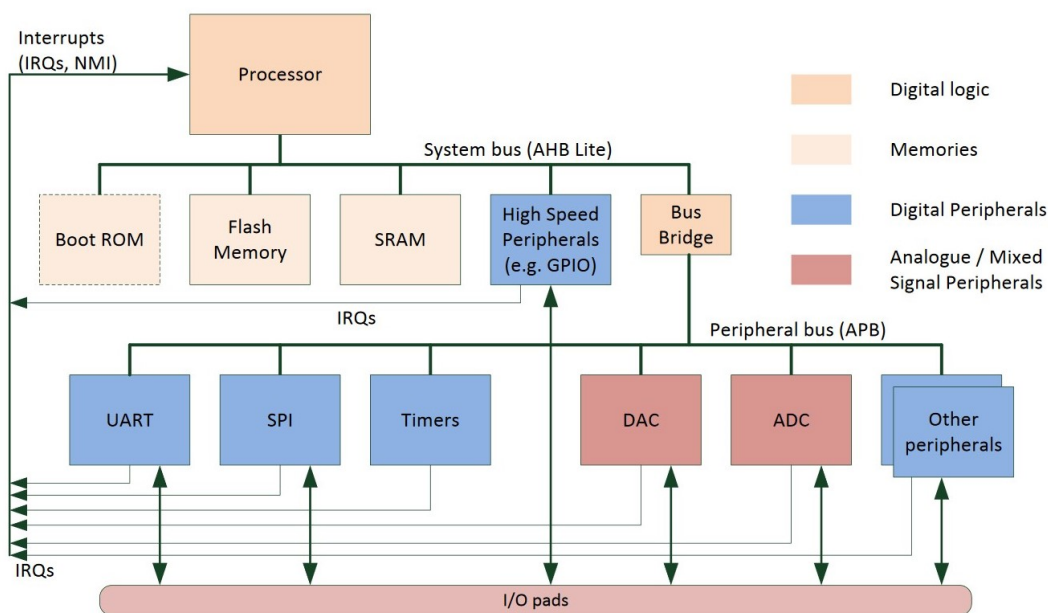
Kapitola 3

Mikrokontroléry rady STM32

Mikrokontroléry rady STM32 od spoločnosti STMicroelectronics sú založené na procesorovom jadre Arm Cortex-M. Tieto mikrokontroléry pozostávajú zo spomínaného jadra Cortex-M, pamäti RAM, FLASH, debugovacej periférie a ďalších periférií.

3.1 Mikrokontrolér STM32F042F6

Mikrokontrolér STM32F042F6 je 32-bitový mikrokontrolér s jadrom Arm Cortex-M0, ktorý môže byť taktovaný na frekvenciu až 48 MHz. STM32F042F6 obsahuje 32 kB pamäte FLASH a 6 kB pamäte SRAM. Disponuje perifériami, ktoré sú potrebné pre tvorbu meracích prístrojov ako 12-bitový AD prevodník a čítače. Čítač TIM2 navyše disponuje 32-bitovým Auto-Reload a Counter registrom. Pre komunikáciu poskytuje periférie UART a USB, ktoré je možné použiť bez externého kryštálu.



Obrázok 3.1. Bloková schéma mikrokontroléru s jadrom Cortex-M0 (prevzaté z [2]).

3.2 Mikrokontrolér STM32F303RE

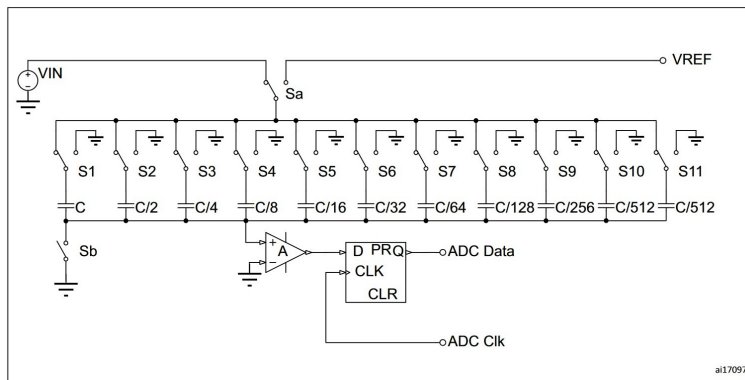
Mikrokontrolér STM32F303RE je 32-bitový mikrokontrolér s jadrom Arm Cortex-M4, ktorý môže byť taktovaný na frekvenciu až 72 MHz. STM32F303RE obsahuje 512 kB pamäte FLASH a 80kB pamäte SRAM. Taktiež disponuje 32-bitovým čítačom TIM2 a ponúka až 4 AD prevodníky s rozlíšením 12 bitov.

3.3 Periférie mikrokontrolérov STM32

V nasledujúcich častiach sú popísané periférie mikrokontroléru STM32, ktoré sú potrebné a využité pre tvorbu meracích prístrojov. Taktiež sú popísané periférie slúžiace na komunikáciu s PC.

3.4 AD prevodníky v STM32

Mikronroléry STM32 disponujú 12-bitovým AD prevodníkom s postupnou aproximáciou. Na meranie napätia je možné použiť niekoľko kanálov prevodníka. AD prevodník umožňuje merať aj vnútornú napäťovú referenciu, teplotu puzdra a napätie batérie pomocou troch vnútorných kanálov.



Obrázok 3.2. Schéma AD prevodníka (prevzaté z [3]).

AD prevodník v STM32 ponúka rôzne možnosti pre konfiguráciu. Pri konfigurácii je možné vybrať požadované vstupné kanály, ktoré sú nastavené v stave "Single-ended". To znamená, že napätie je merané voči analógovej zemi. Ďalej je možné nastaviť dobu prevodu napätia. Doba odberu vzorku je v rozmedzí od 1,5 hodinového cyklu až po 239,5 cyklov v STM32F042 a 601,5 cyklov v STM32F303. Taktiež je možné nastaviť rozlíšenie prevodníka na 6, 8, 10 alebo 12 bitov. Výsledné prevedené napätie sa určí nasledovne:

$$V_x = VDDA \frac{ADC_DR}{\text{Plný rozsah}} [V]$$

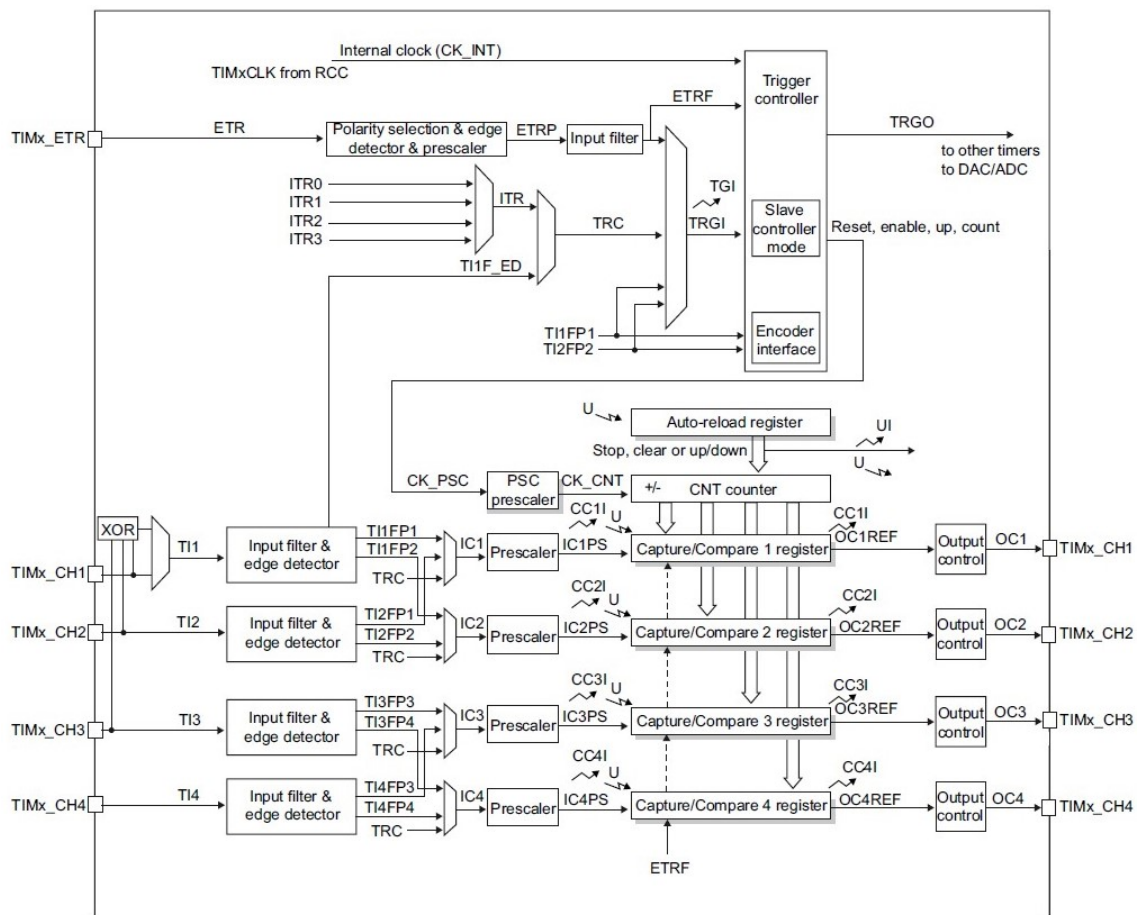
Ako je možné vidieť, výsledné napätie je závislé na veľkosti napájacieho napätia mikroprocesoru. Vo väčšine prípadov je napájacie napätie 3,3 V. Avšak toto napätie nemusí byť stabilné. Napätie môže poklesnúť napríklad pri pripojení výkonového komponentu ako LED diódy a iné. Taktiež stabilizátory napätia majú určitú toleranciu. Ako príklad je možné uviesť LDO stabilizátor napätia HT7533-1, ktorý má typické výstupné napätie 3,3V, ale rozsah garantovaný výrobcom je od 3,201V do 3,399V. Z týchto dôvodov AD prevodníky mikrokontrolérov STM32 umožňujú meranie napájacieho napätia pomocou vnútornej referencie. AD prevodník obsahuje kanál, ktorý je interne napojený na vnútornú referenciu, ktorú môže merať. Nameraná hodnota referencie je porovnávaná s kalibračnou konštantou, ktorá je uložená v pamäti. Výsledné napájacie napätie VDDA sa určí nasledovne:

$$VDDA = 3.3 \frac{VREFINT_{CAL}}{VREFINT_{DATA}} [V]$$

Kalibračná konštanta napájacieho napätia $VREFINT_{CAL}$ je meraná a definovaná výrobcom. Kalibračná konštanta udáva akú hodnotu má namerať vnútorný kanál AD prevodníku napojený na vnútornú referenciu pri napájacom napätí 3300 mV. Presnosť kalibračnej konštanty je ± 10 mV pri teplote $(30 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Adresa v pamäti, kde je konštanta uložená je zadefinované v produktovom liste mikroprocesoru[4][5]. Hodnota $VREFINT_{CAL}$ je umiestnená na adrese 0x1FFF F7BA pre obidva mikroprocesory.

3.5 Čítače v STM32

Mikroprocesory STM32 obsahujú periférie s názvom „Timer“, ktoré plnia funkciu čítačov a časovačov. Timer umožňuje generovanie pulznej šírkovej modulácie, zaznamenanie času detekcie signálu, meranie časových úsekov, počítanie nábežných/zostupných hrán signálu a ďalšie.



Obrázok 3.3. Bloková schéma periférie Timer (prevzaté z [6]).

3.6 Periféria USART v STM32

V súčasnosti väčšina mikrokontrolérov, umožňuje komunikáciu prostredníctvom sériovej linky podľa štandardu RS-232. Mikroprocesory STM32 taktiež podporujú túto formu komunikácie prostredníctvom periférie USART. V základnom prevedení táto komunikácia prebieha pomocou dvoch signálov (Tx – vysielanie, Rx - prijímanie). Pri konfigurácii je jedným z najhlavnejších parametrov prenosová rýchlosť, známa ako baudrate. Ďalšími sú veľkosť prenášaného znaku, prídanie paritných bitov, poradie odosielania bitov a iné.

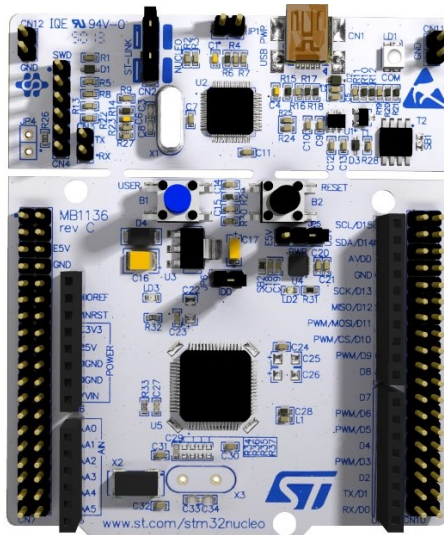
3.7 USB periféria

Mikrokontroléry STM32 umožňujú komunikáciu prostredníctvom univerzálnej sériovej zbernice (USB). Periféria USB v STM32F042 splňuje USB špecifikáciu 2.0 v režime „full-speed USB device“. Maximálna rýchlosť prenosu je 12 Mbit/s. Pri STM32F042 nie je nutné použiť externú USB PHY, pretože USB periféria obsahuje vstavanú USB PHY, ktorá podporuje USB FS signalizáciu a má vstavané Pull-Up na dátových pinoch. Pre komunikáciu prostredníctvom USB je potrebné zabezpečiť precízne hodiny. Pre tento účel sa zvyčajne používa externý kryštál. Mikroprocesor STM32F042 nevyžaduje použitie externého kryštálu, pretože interný 48 MHz oscilátor je možné kalibrovať pomocou CRS (Clock recovery system). CRS využíva na kalibráciu USB SOF signalizáciu.

Zariadenia USB sú rozpoznávané pomocou deskriptoru. V deskriptore je definovaná trieda USB zariadenia. Pre komunikáciu s PC je určená trieda USB CDC (Communication device class). Táto trieda emuluje sériový port. To znamená, že zariadenie sa po pripojení tvári ako sériový port a umožňuje komunikovať so zariadením vo forme sériovej komunikácie.

3.8 Vývojový kit NUCLEO-F303RE

Vývojový kit NUCLEO od firmy STMicroelectronics je založený na mikroprocesore STM32F303RE. Vývojový kit obsahuje všetky prvky pre oživenie mikroprocesoru ako stabilizátor napätia a iné. Na vývojovej doske sú dostupné kryštály. HSE kryštál s frekvenciou 8 MHz a LSE kryštál s frekvenciou 32,768 kHz. Ďalej je priamo na doske integrovaný aj debugger ST-LINK V2.1. ST-LINK umožňuje komunikáciu mikroprocesoru s PC prostredníctvom vstavaného prevodníku USB-UART.



Obrázok 3.4. Vývojový kit Nucleo (prevzaté z [7]).

Na vývojovom kite sú jednotlivé IO brány mikroprocesoru vyvedené do takzvaných Morpho a Arduino konektorov. Nucleo-F303 je možné napájať pomocou USB konektoru na debugeri ST-LINK alebo s využitím externého zdroju. Vývojový kit po prepojení pomocou USB k počítaču sa javí ako 3 rôzne zariadenia.

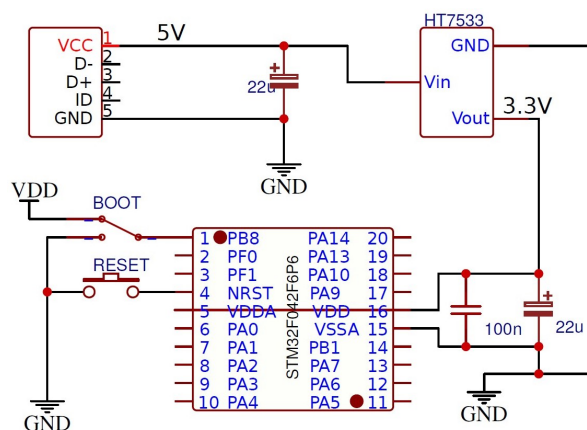
- *Mass Storage zariadenie* - slúži na nahrávanie programu, flash pamäť mikroprocesoru sa javí ako prenosný disk
- *Virtual COM port* - prevodník USB/UART, ktorý je vnútorne spojený s USART2.
- *ST-LINK* - debugger

3.9 Zapojenie obvodu s STM32F042F6

Mikrokontrolér STM32F042F6 je vyrábaný v 20 pinovom TSSOP púzdre, ktoré je možné pomocou adaptéru na DIP jednoducho osadiť do kontaktného poľa. Na oživenie STM32F042 je následne potrebné malé množstvo ďalších komponentov.

- Zdroj napätia - napájanie pomocou USB
- Stabilizátor napätia – napr. HT7333-1
- Resetovacie tlačidlo
- Bootovacie tlačidlo/prepínač

Základné zapojenie obvodu s STM32F042F6 je možné vidieť na nasledujúcej schéme:



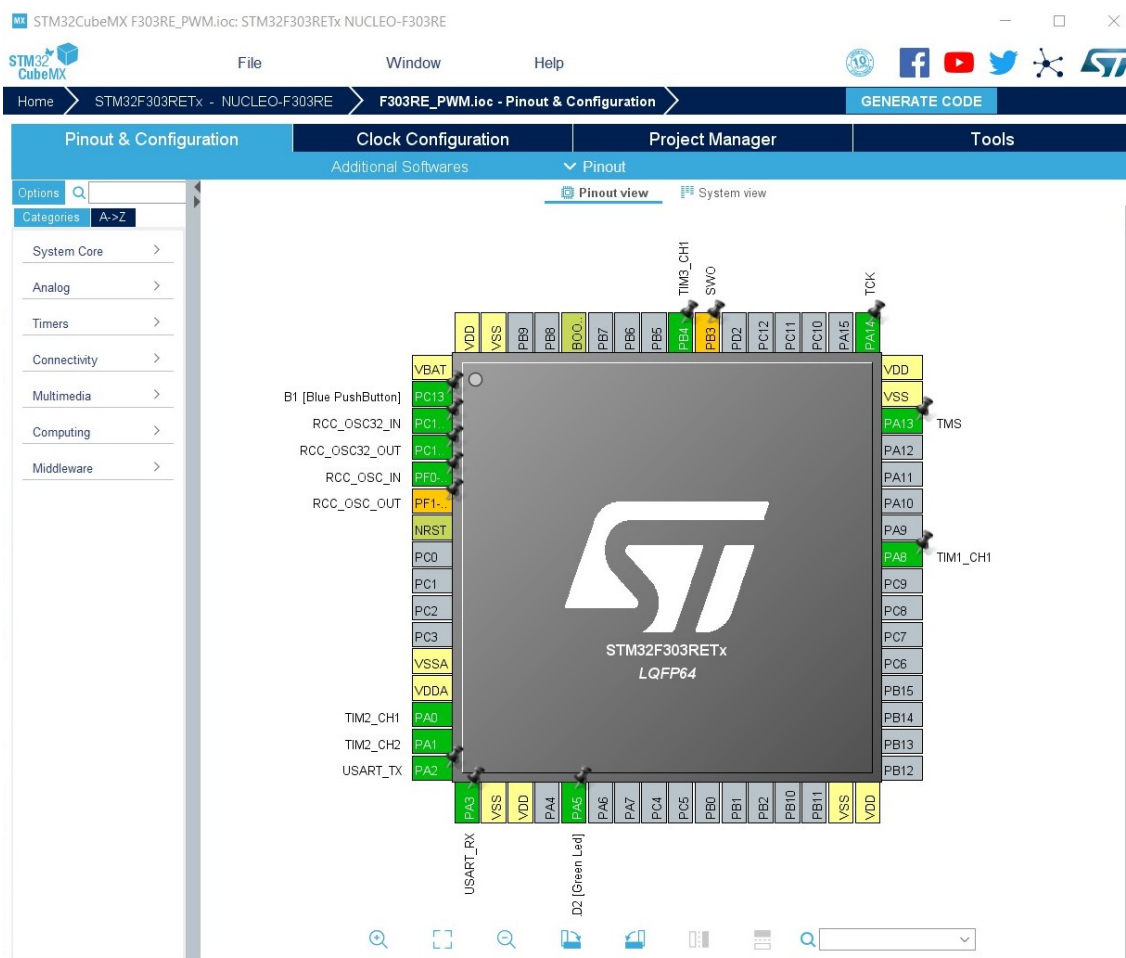
Obrázok 3.5. Schéma zapojenia obvodu s STM32F042F6.

3.10 Vývoj firmvéru pre STM32

V nasledujúcich častiach sú popísané vývojové nástroje, ktoré sú použité na vývoj softvéru pre mikrokontroléry STM32.

3.10.1 Vývojový nástroj STM32CubeMX

Bežne sa inicializácia periférií vykonáva priamo prostredníctvom registrov. Tento prístup vyžaduje detailnú znalosť periférií a mikrokontroléru. Detailný popis periférií a príslušných registrov je uvedený v referenčných manuáloch pre mikroprocesory [6][8]. Na urýchlenie tvorby softvéru pre mikrokontroléry STM32 bol vyvinutý nástroj STM32CubeMX, v súčasnosti vo verzii 5.2.0, ktorý slúži na inicializáciu a konfiguráciu mikrokontrolérov STM32. STM32CubeMX je grafická aplikácia, kde je možné inicializovať jednotlivé periférie, konfigurovať I/O brány, nastaviť hodiny procesoru a ďalšie parametre. Navyše generuje aj vyššie aplikačné vrstvy ako napríklad USB, FreeRTOS a iné.



Obrázok 3.6. Grafické prostredie nástroja STM32CubeMX.

STM32CubeMX vo výsledku generuje projekt, s ktorým je možné pracovať vo vývojových prostrediach ako Keil, IAR EWARM, Atollic TrueStudio. Taktiež je možné vytvoriť samostatný projekt iba s Makefile. Generovaný projekt sa skladá z knižníc HAL a LL pre obsluhu mikrokontroléru, zdrojovými súbormi pre obsluhu hlavného programu (main), nastavenie GPIO a nastavenie prerušení.

Občas sa stane, že inicializácia nie je správna a STM32CubeMX vygeneruje projekt s chybami. Preto je vhodné, pri následnom skúmaní a hľadaní chyby skontrolovať príslušné registre, či sú nastavené podľa potreby. Taktiež v STM32CubeMX nie sú implementované všetky funkcionality, ktoré mikrokontrolér ponúka a je nutné ich implementovať manuálne.

3.10.2 STM32 HAL API

HAL (hardware abstraction layer) je súbor knižníc vytvorených v jazyku C, ktoré tvoria abstrakciu hardvérovej vrstvy. Táto vrstva obsahuje funkcie pre obsluhu jednotlivých periférií. Jej veľkou výhodou je prenositeľnosť medzi jednotlivými mikroprocesormi, čo umožňuje rýchlu a jednoduchú tvorbu aplikácií. Použitie abstrakcie však prináša aj nevýhody v podobe veľkej pamäťovej a časovej náročnosti pri vykonávaní funkcií, takže nie sú vhodné pre časovo kritické operácie. Programy s využitím HAL funkcií sú obtiažne laditeľné, pretože ich veľkosť znemožňuje užívateľovi mať prehľad o vykonaných operáciách mikrokontroléru.

■ 3.10.3 STM32 Low Layer API

Low-layer(LL) API je knižnica pre obsluhu mikroprocesorov STM32, ktorá využíva priamo registre. Vďaka tomu použitie LL funkcií je menej pamäťovo aj časovo náročné ako v prípade HAL funkcií. Ich nevýhodou je malá prenositeľnosť medzi mikroprocesormi a nedostatočná podpora pre všetky mikroprocesory rady STM32.

Spomínaný nástroj STM32CubeMX aj knižnice HAL a LL sú voľne dostupné od spoločnosti STMicroelectronics. Knižnice HAL a LL sú vydávané pre jednotlivé rodiny mikroprocesorov STM32 v takzvaných STM32Cube balíčkoch.

■ 3.10.4 Vývojové prostredie Keil MDK

Integrované vývojové prostredie Keil MDK slúži na vývoj, kompilovanie a následné ladenie mikroprocesorov s jadrom Arm Cortex-M. Tento nástroj je vyvíjaný priamo spoločnosťou Arm a podporuje veľké množstvo mikroprocesorov od rôznych výrobcov. Keil disponuje veľmi dobrým ladiacim rozhraním. Jeho nevýhodou je, že je dostupný iba pre operačný systém Windows a jeho cena je veľmi vysoká. V základnej bezplatnej verzii je možné pracovať s programom, ktorého veľkosť je maximálne 32 kB. Pre mikroprocesory série STM32F0 je dostupná bezplatná plná verzia.

■ 3.10.5 Vývojové prostredie Atollic TrueStudio

Atollic TrueStudio je vývojové prostredie založené na platforme Eclipse od STMicroelectronics, ktoré slúži na tvorbu, kompilovanie a ladenie projektov. TrueStudio je bezplatné a multiplatformné (podpora Windows, Linux, OS X). Veľkosť výsledného programu nie je obmedzená.

■ 3.10.6 STM32CubeProgrammer

STM32CubeProgrammer je softvérový nástroj určený pre nahrávanie programu do mikroprocesoru. Umožňuje nahráť program prostredníctvom rozhraní ako UART, USB alebo ST-LINK. Veľkú výhodu predstavuje možnosť nahráť program v binárnej alebo hexa forme prostredníctvom USB rozhrania, ktorým STM32F042F6 disponuje. Postup nahrávania programu do zariadenia STM32 je popísaný v užívateľskom manuáli nástroja STM32CubeProgrammer [9].

Kapitola 4

Terminálové aplikácie

4.1 Terminál

Terminál je zariadenie, ktoré slúži pre vzdialenú komunikáciu s iným zariadením. V minulosti sa týmto termínom označovali zariadenia, ktoré pozostávali z monitoru a klávesnice a slúžili k ovládaniu veľkých sálových počítačov. Tieto terminály boli pripojené k zariadeniu prostredníctvom sériovej linky. Komunikácia je väčšinou kódovaná vo formáte ASCII. Odoslané a prijímané sú teda len znaky. Z týchto dôvodov terminál zobrazoval len text. V súčasnosti sa pre vzdialenú komunikáciu so zariadeniami využívajú PC, ktoré disponujú vhodným rozhraním a softvérovým vybavením, napr. terminálovým emulátorom.

4.2 Terminálový emulátor

Terminálový emulátor je aplikácia, ktorá emuluje funkciu terminálu. To znamená, že umožňuje pripojiť sa a komunikovať s iným zariadením. Terminálový emulátor používa ku komunikácií so zariadením rôzne rozhrania. Medzi tieto rozhrania patria:

- Sériová linka - EIA RS-232, USB Virtual COM port
- Telnet - protokol určený pre obojsmernú komunikáciu, ktorý využíva TCP protokol
- SSH - šifrovaný protokol, ktorý zabezpečuje komunikáciu medzi klientom a serverom

Grafické rozhranie aplikácie je rovnaké ako výzor klasického terminálu. To znamená, že zobrazuje len text. Ako je vidieť na nasledujúcom obrázku, ich grafické rozhranie je podobné textovému editoru:



Obrázok 4.1. Grafické rozhranie terminálového emulátoru.

Terminálové emulátory pracujú v základnom režime v takzvanom „Roll“ móde, to znamená, že po prijatí ANSI znaku „Line feed“ sa kurzor posunie o riadok nižšie. Po dosiahnutí konca terminálového okna sa zobrazený text posunie o jeden riadok vyššie a nový text sa zobrazí na poslednom riadku. Toto správanie vytvára dojem, že text sa roluje nahor.

4.3 Vybrané terminálové emulátory

4.3.1 Terminálový emulátor Putty

Voľne dostupný terminálový emulátor pre systémy s operačným systémom Windows. Terminál ponúka pripojenie pomocou sériového portu, Telnet aj SSH. Dôležitá vlastnosť je, že podporuje ANSI escape sekvencie. Ďalej umožňuje nastavenie fontu, veľkosti písma, veľkosť okna. Putty taktiež ponúka užitočnú funkciu, interaktívnu zmenu veľkosti fontu pri zmene veľkosti okna. V tejto možnosti ostáva natívne rozlíšenie terminálového okna (80 stĺpcov X 24 riadkov) ale pri zmene veľkosti okna sa priamoúmerne mení veľkosť fontu. Natívna farba terminálového okna je čierna a farba textu biela.

4.3.2 Terminálový emulátor TeraTerm

TeraTerm je voľne dostupný terminálový emulátor pre Windows. Má plnú podporu ANSI escape sekvencií. Umožňuje nastavenie fontu, veľkosti písma, veľkosť okna a iné. Výhodou terminálového emulátoru TeraTerm je, že pri odpojení COM portu sa terminálové okno neuzavrie, ale čaká na znovu pripojenie COM portu. Táto vlastnosť je užitočná pri práci s STM32F042, pretože ak mikrokontrolér ide do resetu, tak prestáva pracovať USB periféria a komunikácia sa preruší. Následne, ak sa komunikácia znovu obnoví, terminálové okno ďalej správne funguje. Pri otvorení COM portu je baudrate nastavený na 9600, ako aj pri iných terminálových emulátoroch je možné ho zmeniť v nastaveniach terminálu. Natívnu baudrate hodnotu je možné zmeniť na inú v TERATERM.inf súbore, ktorý sa nachádza v inštaláčnom súbore. TeraTerm umožňuje ukladanie dát do súboru, táto vlastnosť je užitočná pri zázname dát z merania.

4.3.3 Terminálový emulátor Xterm

Xterm je voľne dostupný terminálový emulátor pre Windows, podporuje ANSI escape sekvencie, ale natívne nie sú povolené. Grafický ANSI mód je potrebné manuálne zapnúť v hlavnom terminálovom okne. Xterm je vhodný pre logovanie dát do súboru, pretože Xterm umožňuje aj v priebehu komunikácie povoliť prepis prijatých dát do súboru.

4.4 Zobrazovanie pomocou terminálu

Roll mód nie je vždy vhodný pre zobrazovanie dát. Pre zobrazenie jednej hodnoty je lepšie, aby bola stále zobrazená na stálom mieste. Znaková sada ASCII ponúka niekoľko možností pre základné formátovanie textu.

| Zápis v C | Kód | Názov | Funkcia |
|-----------|------|----------------------|--|
| \a | 0x07 | Bell | Zvonček |
| \b | 0x08 | Backspace | Posunutie kurzoru o na predchádzajúcu pozíciu |
| \f | 0x0C | Formfeed | Presunutie kurzoru na začiatok novej stránky |
| \n | 0x0A | New line (Linefeed) | Nový riadok |
| \r | 0x0D | Carriage return | Presunutie kurzoru na začiatok aktuálneho riadku |
| \t | 0x09 | Horizontal tabulator | Horizontálny tabulátor |
| \v | 0x0B | Vertical tabulator | Vertikálny tabulátor |

Tabuľka 4.1. Základne ASCII znaky pre formátovanie textu.

Tieto znaky umožňujú jednoduché formátovanie a oddelenie textu. Veľmi dôležitý je znak „Carriage return“, ktorý sa využíva v situáciách, kedy je potrebné prepisovať zobrazené hodnoty. Tieto hodnoty sú limitované maximálne na dĺžku jedného riadku. Ďalší znak, ktorý je možné využiť, je zvonček. Po vyslaní tohto znaku počítač vydá zvukovú signalizáciu. Toto je možné využiť v situáciách, keď je potrebné používateľa na niečo upozorniť. Napríklad na prekročenie maximálneho napájacieho napätia alebo pri indikácii skratu.

4.5 ANSI escape sekvencie

Základná sada ASCII znakov nie je dostatočná pre tvorbu zložitejšej a užívateľsky príjemnejšej aplikácie. Z týchto dôvodov sa začali do terminálov implementovať postupnosti znakov, ktoré slúžili na umiestenie kurzoru. S nástupom grafických terminálov sa sady sekvencií rozširovali o sekvencie, ktoré ovládajú grafické atribúty terminálu ako sú farba pozadia, farba písma a iné. Tieto sekvencie boli zosúladené štandardom ECMA-48[10], ktorý neskôr prebrala americká štandardizačná organizácia ANSI do svojho štandardu ANSI X3.64. Z tohto pochádza názov ANSI escape sekvencie. Základom escape sekvencie je znak ESC, ktorý slúži ako inicializácia sekvencie.

| Znak | Dec | Hex | Oct |
|------|-----|-----|-----|
| ESC | 27 | 1B | 033 |

Tabuľka 4.2. Znak ESC.

Za znak ESC sa následne pridáva parameter, ktorého funkcia je definovaná štandardom. Výsledné sekvencie môžu vyzerať nasledovne:

| Escape sekvencia | Funkcia |
|------------------|---|
| ESC N | Výber alternatívnej sady znakov |
| ESC c | Resetovanie zariadenia do pôvodného stavu |
| ESC [| CSI - inicializácia dlhšej sekvencie |

Tabuľka 4.3. Príklady escape sekvencií.

Pre praktické využitie escape sekvencií je dôležitá spomenutá sekvencia CSI (Control sequence introducer). Táto sekvencia vymedzuje začiatok, po ktorom nasledujú parametre typu integer a ukončuje ju koncový znak typu char. Jednotlivé číselné parametre sú od seba oddelené bodkočiarkou.

| CSI | Parametre | Koncový znak |
|-------|-------------|--------------|
| ESC [| 0;1;4;34;45 | m |

Tabuľka 4.4. Príklad sekvencie s využitím CSI.

V jazyku C je možné sekvenciu zapísať nasledovne:

```
char ansi_sequence[] = "\033[0;1;4;34;45m";
```

Pomocou ANSI escape sekvencií s využitím CSI je možné meniť grafické prostredie terminálu. Tieto funkcionality sú potrebné pri využití terminálu ako plnohodnotnej aplikácie. V nasledujúcich častiach sú popísané vybrané sekvencie, ktoré sú potrebné pri tvorbe terminálovej aplikácie.

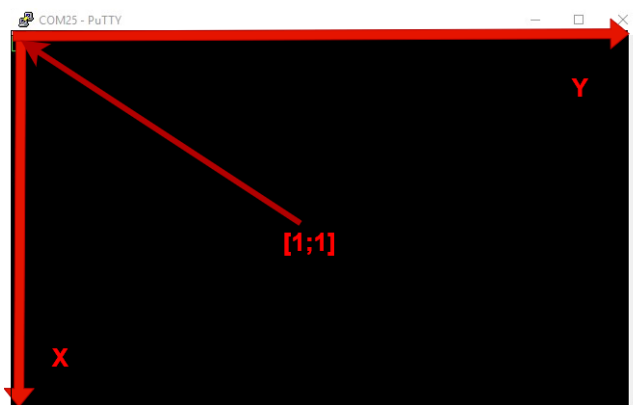
4.5.1 Umiestnenie kurzoru

Jednou z najdôležitejších funkcionalít je umiestnenie textu na definovanú pozíciu. Pri realizácii meracieho prístroja je potrebné, aby meraná hodnota bola zobrazovaná na rovnakom mieste. V prípade viacerých meraných hodnôt je vhodné, aby boli oddelené. K týmto účelom slúži sekvencia pre umiestnenie kurzoru.

| CSI | Parametre | Koncový znak |
|-------|-----------|--------------|
| ESC [| x;y | f |

Tabuľka 4.5. Sekvencia pre umiestnenie kurzoru na miesto x(riadok) a y(stĺpec).

Pozícia kurzoru sa počíta od ľavého horného rohu terminálového okna. Základná pozícia pre kurzor je $[x;y]=[1;1]$.



Obrázok 4.2. Terminálové okno so súradnicami.

Pre umiestnenie kurzoru je možné využiť aj ANSI sekvencie pre posun. Tieto sekvencie posunú daným smerom kurzor o definovaný počet miest od aktuálnej polohy. Sekvencie sú vhodné na použitie pri prepisovaní údajov alebo pri výpise viacerých hodnôt naraz.

| Escape sekvencia | Funkcia |
|------------------|-------------------------------------|
| ESC[nA | Posunutie o n znakov nahor |
| ESC[nB | Posunutie o n znakov nadol |
| ESC[nC | Posunutie o n znakov dopredu |
| ESC[nD | Posunutie o n znakov dozadu |

Tabuľka 4.6. ANSI sekvencie pre posun kurzoru.

4.5.2 Nastavenie grafického módu

Terminálové emulátory VT100 a vyššie podporujú grafický mód. V grafickom móde je možné zmeniť grafické vlastnosti terminálu ako farba písma, farba pozadia a iné. Sekvencie pre zmenu týchto parametrov nám umožňujú vytvoriť pseudografické terminálové aplikácie. Zmena pozadia vytvára užívateľsky príjemnejšiu aplikáciu. Ďalej môžeme konkrétnymi farbami zvýrazňovať jednotlivé údaje alebo zmenami farby upozorniť na dôležité údaje. ANSI sekvencia pre grafický mód používa ako koncový znak „m“.

| CSI | Parametre | Koncový znak |
|-------|-------------|--------------|
| ESC [| 0;1;4;34;45 | m |

Tabuľka 4.7. Príklad sekvencie pre zmenu grafického módu.

ANSI sekvencie majú definované základne farby. V nasledujúcej tabuľke je prehľad základných farieb písma a pozadia a ich kódov.

| Kód [písmo] | Kód [pozadie] | Farba |
|-------------|---------------|-----------|
| 30 | 40 | Čierna |
| 31 | 41 | Červená |
| 32 | 42 | Zelená |
| 33 | 43 | Žltá |
| 34 | 44 | Modrá |
| 35 | 45 | Magenta |
| 36 | 46 | Tyrkysová |
| 37 | 47 | Biela |

Tabuľka 4.8. Základné farby terminálu

Jednotlivé terminály nezobrazujú farby rovnako, ale interpretuje ich v jemne odlišných odtieňoch. Farby menia svoj odtieň aj pri využití sekvencie na zvýšenie a zníženie intenzity.



Obrázok 4.3. Interpretácia farieb terminálom Putty.

Iné ako preddefinované farby je možné nastaviť dvoma ďalšími spôsobmi. Prvý spôsob je zadať farbu v 8-bitovom formáte. Tento formát má farby definované pomocou základnej palety farieb a k jednotlivej farbe je definovaný 8-bitový kód. Výsledná sekvencia pre nastavenie farby vyzerá nasledovne:

| Escape sekvencia | Funkcia |
|-----------------------|--------------------------|
| ESC[38;5;<kód farby>m | Nastavenie farby písma |
| ESC[48;5;<kód farby>m | Nastavenie farby pozadia |

Tabuľka 4.9. Nastavenie farby (8-bitový formát).

Druhá možnosť je nastavenie farby pomocou RGB formátu. V závislosti od podpory terminálu je možné využiť farby v 8-bitovom formáte (High color) alebo v 24-bitovom formáte (True color).

| Escape sekvencia | Funkcia |
|--------------------------------------|--------------------------|
| ESC[38;2;<červená>;<zelená>;<modrá>m | Nastavenie farby písma |
| ESC[48;2;<červená>;<zelená>;<modrá>m | Nastavenie farby pozadia |

Tabuľka 4.10. Nastavenie farby vo formáte RGB.

Pre úplnosť je nutné doplniť niektoré sekvencie, ktoré sú užitočné pri tvorbe užívateľského prostredia. Tieto sekvencie slúžia pri mazaní terminálového okna. Nájdú si uplatnenie najmä pri inicializácii obrazovky na začiatku alebo pri zmene módu programu. Ako príklad môže poslúžiť skok do nariadenia, kde je potrebné prepísať celú obrazovku a vypísať nariadenie.

| Escape sekvencia | Funkcia |
|------------------|--|
| ESC[0J | Zmazanie obrazovky od kurzoru po koniec obrazovky |
| ESC[1J | Zmazanie obrazovky od začiatku obrazovky po kurzor |
| ESC[2J | Zmazanie celého terminálového okna |
| ESC[0K | Zmazanie riadku od začiatku po kurzor |
| ESC[1K | Zmazanie riadku od kurzoru po koniec riadku |
| ESC[2K | Zmazanie celého riadku |

Tabuľka 4.11. ANSI sekvencie pre mazanie obrazovky.

Uvedené ANSI sekvencie sú najpoužívanejšie pri tvorbe grafického užívateľského rozhrania prostredníctvom terminálovej aplikácie. Ďalšie prehľady a zoznamy sekvencií je možné nájsť v príslušných štandardoch[10] alebo na špecializovaných internetových stránkach zaoberajúcich sa problematikou ANSI escape sekvencií[11].

4.6 Tvorba užívateľského rozhrania

V bežných aplikáciach, ktoré sú určené pre obsluhu meracích prístrojov, sa využíva grafické užívateľské prostredie, ktoré je ovládané väčšinou pomocou grafického kurzoru ovládaného počítačovou myšou. Pomocou užívateľského prostredia sú zobrazované namerané hodnoty a dáta. Taktiež umožňujú nastavenie a zadanie parametrov. Terminálové emulátory sú textové aplikácie, ktoré neumožňujú využitie grafického kurzoru. Pomocou vysvetlených ANSI sekvencií je možné emulovať grafické ovládacie prvky, ktoré sú ovládané pomocou prijatých znakov z klávesnice.

4.6.1 Elementárne nastavenie parametrov

Najjednoduchší spôsob ako nastaviť číselný parameter pomocou terminálu je inkrementácia a dekrementácia tohto parametru. Po prijatí definovaného znaku sa hodnota parametru zvyšuje a po prijatí iného definovaného znaku sa hodnota znižuje. Tento princíp je znázornený v nasledujúcom pseudokóde:

```
while(1){
    received_char = receive();
    if(received_char==CHAR_1){
        parameter++;
    }
    if(received_char==CHAR_2){
        parameter--;
    }
}
```

```

}
print(parameter);
}

```

Inkrementácia a dekrementácia môže byť závislá na dobe stisku klávesy, teda frekvencií prijatých znakov. Ako príklad je možné uviesť zvyšovanie hodnoty parametru o 1 v základnom režime, ak daný znak prichádza opakovane po dobu dvoch sekúnd, parameter sa zvyšuje o 10.

4.6.2 Číselné zadávanie parametrov

Pre číselné parametre, ktoré majú veľký rozsah je vhodné, aby boli zadávané priamo pomocou číselnej hodnoty. Spracovanie číselnej hodnoty je znázornené na nasledujúcom pseudoprograme:

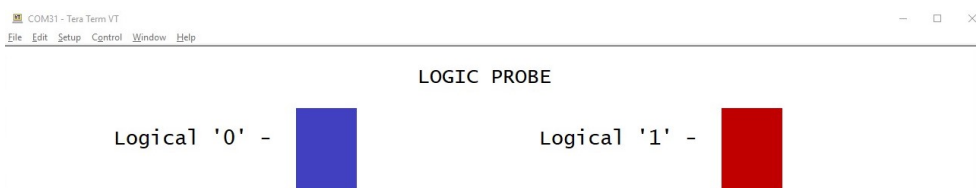
```

parameter;
digits=0;
while(received_char != 13){ //Klávesa Enter = znak Carriage return
    received_char = receive();
    parameter *= 10;
    parameter += received_char - '0'; //Prevod z ASCII kódu na číslo
    print(parameter);
}

```

4.6.3 Grafické zobrazenie hodnôt

Niektoré hodnoty, parametre a stavy je možné graficky zobrazit napríklad zmenou farby. Pre tieto účely sú vhodné ANSI escape sekvencie. Grafické zobrazenie je vhodné pri interpretovaní logického stavu, kde je potrebné zobrazit iba dva stavy pomocou dvoch farieb. Grafické zobrazenie je v takomto prípade vhodnejšie ako výpis hodnôt „0“ a „1“. Na obrázku(4.4) je znázornené grafické zobrazenie logických hodnôt v prístroji logická sonda.



Obrázok 4.4. Grafické zobrazenie logickej úrovne.

Geometrický útvar akým je farebný obdĺžnik označujúci logický stav, je možné vytvoriť pomocou takzvaných bielych znakov ako sú medzera, tabulátor, line feed a iné.

4.6.4 Emulovanie kurzoru v terminálovej aplikácii

Ako bolo spomenuté, v terminálovej aplikácii nie je možné použiť grafický kurzor. Jeho funkciu je možné emulovať pomocou zmeny farby terminálu a vyššie popísaným grafickým zobrazením hodnôt. Kurzor môže byť označený inou farbou ako je pozadie terminálu. V prípade, keď je potrebné zadávať viacero parametrov, vybraný parameter je zobrazený inou farbou. Pri prechode k ďalšiemu parametru sa farba pozadia predchádzajúceho parametru zmení na farbu pozadia terminálu a ďalší parameter sa označí vybranou farbou. Pohyb kurzoru medzi jednotlivými parametrami je ovládaný prostredníctvom znakov ako „w“, „s“, „a“, „d“, ktoré sú prirodzene umiestnené na klávesnici.

Jednotlivé parametre je možné ohraničiť použitím ASCII znakov ako pomlčka „-“, podtržítka „_“ alebo zvislá čiara „|“. Tieto znaky umožňujú okolo parametrov vytvoriť ohraničenie podobné tlačidlu alebo kolónky pre zadanie hodnoty. Tento prístup bol využitý pre tvorbu grafického užívateľského prostredia impulzného generátoru 6.15.

Kapitola 5

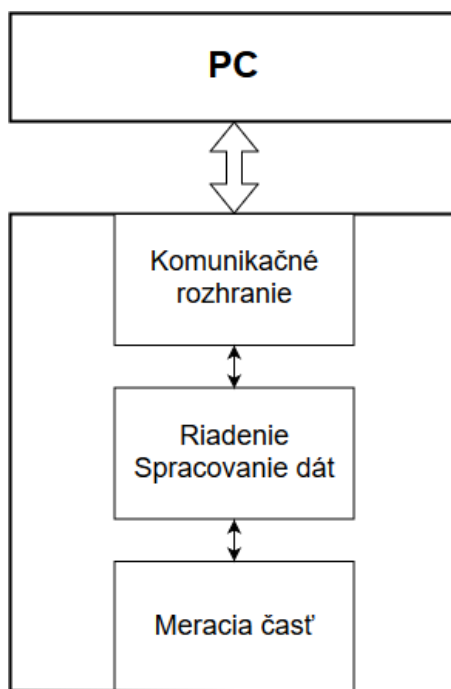
Metodika tvorby softvérovo definovaných meracích prístrojov

Softvérovo definované nástroje používajú modulárny hardvér pre meranie, ktorý môže byť použitý na realizáciu viacerých druhov meraní podľa definície a potreby užívateľa. Pre realizáciu softvérovo definovaných prístrojov namiesto modulárneho hardvéru je možné použiť mikrokontrolér, ktorý disponuje potrebnými perifériami pre realizáciu merania. Ako bolo spomenuté, pre tvorbu prístrojov sú použité mikrokontroléry STM32. Z týchto dôvodov bude metodika tvorby prístrojov zameraná na tieto a im podobné zariadenia.

5.1 Funkčné bloky softvérovo definovaných meracích prístrojov

Softvérovo definovaný merací prístroj je možné rozdeliť do niekoľkých základných blokov, ktoré sú medzi sebou previazané.

- Komunikačné rozhranie - umožňuje prepojenie s nadriadeným PC, ktoré má na starosti ovládanie a zobrazovanie dát
- Spracovanie dát a riadenie prístroja - riadenie meracej časti, spracovanie dát, spracovanie riadiacich príkazov
- Meracie rozhranie - obsluha merania



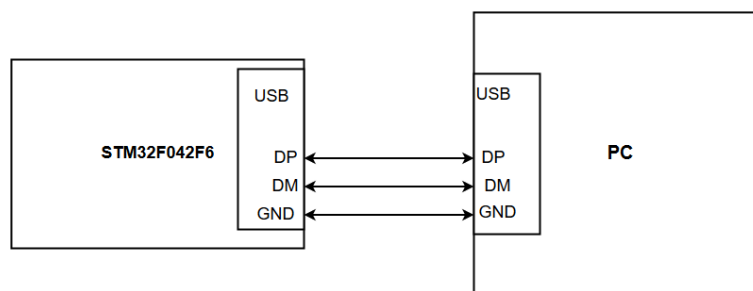
Obrázok 5.1. Bloková schéma softvérovo definovaných meracích prístrojov.

5.2 Komunikačné rozhranie

Ako základný prvok softvérovo definovaných prístrojov je potrebné zaistiť komunikáciu medzi mikrokontrolérom a nadriadeným PC. V súčasnosti sa pre pripojenie k PC používa najmä rozhranie USB. Na implementáciu komunikačného rozhrania budú ďalej naviazané ostatné funkčné bloky prístroja. Z tohto dôvodu programy pre vytvorenie komunikačného rozhrania tvoria základ implementácie meracích prístrojov.

5.2.1 Komunikačné rozhranie STM32F042

Ako už bolo spomenuté v časti 3.7, STM32F042 môže komunikovať s PC prostredníctvom zbernice USB. Výhodou tohto pripojenia je priame spojenie s PC, bez potreby ďalších komponentov.



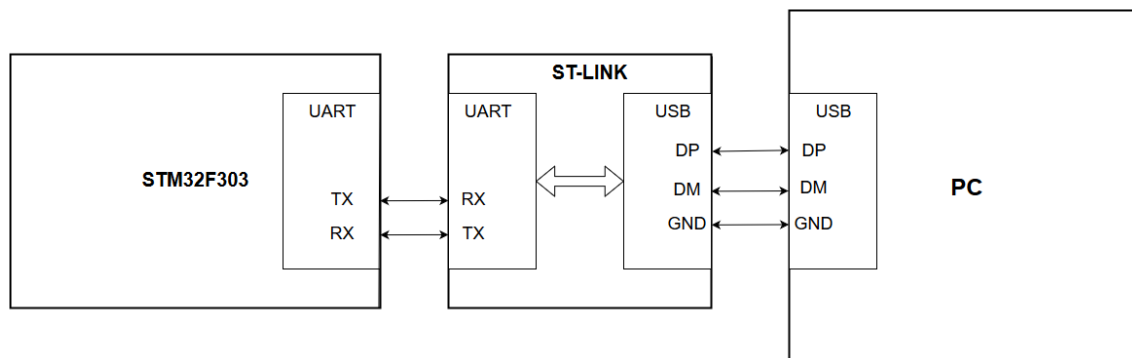
Obrázok 5.2. Bloková schéma komunikačného rozhrania STM32F042F6.

Pre inicializáciu USB rozhrania je použitý vývojový nástroj STM32CubeMX. STM32CubeMX umožňuje vytvorenie virtuálneho COM portu s využitím HAL a LL knižníc.

Vývojový nástroj STM32CubeMX umožňuje pomerne jednoduchú inicializáciu virtuálneho sériového portu. Spolu s inicializačným kódom, STM32CubeMX generuje aj potrebné funkcie na ovládanie zariadenia USB. Dátové linky DM a DP sú prepojené na piny PA11 a PA12. Tieto piny nie sú natívne vyvedené v puzdre TSSOP20, je potrebné ich premapovať v sekcii `System Core->SYS`. Po tomto kroku je možné povoliť perifériu USB v sekcii `Connectivity->USB`. Následne je možné v sekcii `Middleware->USB_Device` vybrať vhodnú triedu USB. Pre komunikáciu prostredníctvom virtuálneho sériového portu je potrebné vybrať triedu `Communication device class`. Veľkosť prijímacieho a odosiaceho zásobníka je štandardne nastavená na 1024 bajtov. Takáto konfigurácia je nevhodná pre STM32F042, pretože veľkosť pamäte RAM je iba 6kB. Pre komunikáciu pomocou terminálovej aplikácie nám stačí prijať iba jeden znak. Preto je potrebné zmenšiť veľkosť zásobníka. Pre správnu funkčnosť USB je potrebné zaistiť presné hodiny. Interný oscilátor HSI neposkytuje dostatočnú presnosť hodín. Jednou z možností zaistenia presných hodín je použitie externého kryštálu. STM32F042 ponúka ďalšiu možnosť ako zaistiť presné hodiny pre USB pomocou CRS periférie. Táto periféria doladzuje interný 48 MHz oscilátor HSI48 pomocou externých signálov ako USB SOF signalizácia alebo LSE oscilátor. Zapnutie CRS periférie je možné v sekcii `System Core->RCC->CRS SYNC`. Výsledný projekt obsahuje knižnice pre prácu s USB. Dáta je možné odosielať pomocou funkcie `CDC_Transmit_FS()`. Prijímanie dát je implementované prostredníctvom funkcie `CDC_Receive_FS()`. Prijímanie a odosielanie dát prebieha v neblokovanom režime vo forme prerušení.

5.2.2 Komunikačné rozhranie STM32F303

STM32F303 taktiež disponuje možnosťou komunikácie pomocou USB. Pri použití vývojového kitu NUCLEO-F303RE je možné využiť komunikáciu prostredníctvom UART, pretože vývojový kit NUCLEO disponuje vstavaným USB/UART prevodníkom.



Obrázok 5.3. Bloková schéma komunikačného rozhrania STM32F303.

USART periféria je pomerne jednoduchá na obsluhu v základnom režime je prijatý znak uložený v USART_RDR registri. Znaky sú odosielané prostredníctvom USART_TDR registru. Pre časovo náročné aplikácie je možné využívať v neblokovanom režime pomocou prerušenia alebo s využitím DMA. Pri implementácii komunikačného rozhrania bol využitý vývojový nástroj STM32CubeMX.

5.3 Spracovanie dát a riadenie prístroja

Riadiaci blok slúži na ovládanie meracích periférií, spracovanie riadiacich príkazov z nadradeného PC, spracovanie nameraných dát a následné odosielanie a zobrazenie nameraných dát. Riadiaci blok môže pre svoje operácie využívať nasledujúce metódy.

- Softvérové – periférie sú softvérovo obsluhované (napr. zapnutie AD prevodníku po prijatí príkazu z PC)
- Periférie – riadenie merania zabezpečuje iná periféria (napr. čítač použitý ako trigger AD prevodníka)

Pri využití terminálovej aplikácie pre riadenie a zobrazovanie musí navyše obsluhovať aj grafické užívateľské prostredie. Umiestňovať dáta na definované miesta na obrazovke, meniť definované farby terminálu, vykresľovať prostredie a iné.

5.4 Meracia časť

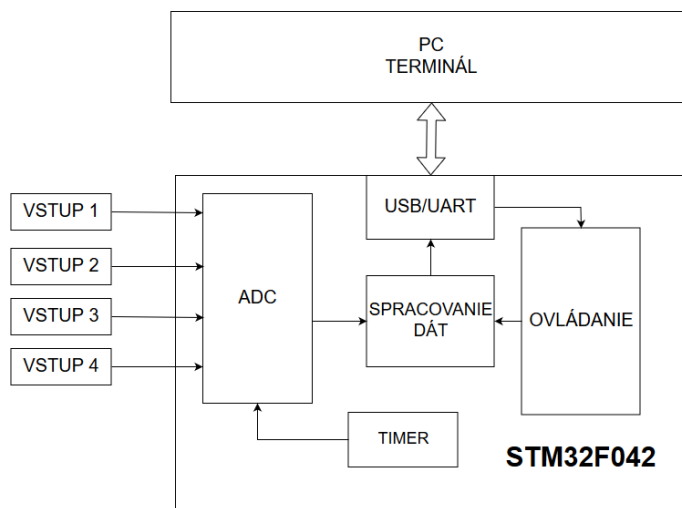
Realizáciu meraní má na starosti meracia časť, ktorá sa skladá z periférií mikrokontroléru. Na základe definície užívateľa a určenia prístroja je možné použiť periférie ako AD prevodník, čítač, DA prevodník a iné. Výrobcom mikrokontrolérov ponúkajú rôzne periférie pre realizáciu merania. Dostupnosť potrebných periférií je jednou z najdôležitejších aspektov pri výbere vhodného mikrokontroléru.

Kapitola 6

Realizácia meracích prístrojov

6.1 Voltmeter

Základný merací prístroj voltmeter slúži k meraniu jednosmerného napätia. Rozsah napájacieho napätia je od 0 V po referenčné napätie AD prevodníku. V realizácii prístroja voltmeter je použité napájacie napätie ako referenčné napätie. To znamená, že maximálna hodnota meraného napätia môže byť hodnota napájacieho napätia. Pre zväčšenie rozsahu vstupného napätia voltmetra je možné využiť napäťový delič. Meranie napätia prebieha na 4 kanáloch AD prevodníku, to znamená, že je možné merať až 4 rôzne vstupné napätia.



Obrázok 6.1. Bloková schéma prístroja voltmeter.

6.1.1 Meranie napätia

Meranie napätia prebieha pomocou AD prevodníka s rozlíšením 12-bitov. Zapojené sú 4 vonkajšie kanály a jeden vnútorný kanál pre meranie vnútornej referencie. Tieto kanály sú čítané v tzv. „Scan“ móde. Doba odberu vzorku je nastavená na maximálnu hodnotu, ktorá je 239,5 cyklov. Frekvencia hodín pre AD prevodník je 12 MHz. Z toho vyplýva, že doba odberu jedného vzorku je $t_{samp} = 19,95 \mu s$. Výsledné napätie sa určí nasledovne:

$$V_x = VDDA \frac{ADC_DR}{4095} [V]$$

kde ADC_DR je nameraná hodnota AD prevodníka a $VDDA$ je napájacie napätie. Ako bolo spomenuté, napájacie napätie nemusí byť konštantné, z tohto dôvodu pri meraní prebieha korekcia hodnoty napájacieho napätia pomocou vnútornej referencie. Hodnota kalibračnej konštanty $VREFINT_{CAL}$ je definovaná konštanta v pamäti a $VREFINT_{DATA}$ je nameraná hodnota pomocou vnútorného kanálu AD prevodníku. Výsledné napájacie napätie $VDDA$:

$$VDDA = 3.3 \frac{VREFINT_{CAL}}{VREFINT_{DATA}} [V]$$

Vzorkovacia frekvencia AD prevodníku je 100 Hz. Vzorkovacia frekvencia 100 Hz je zvolená z dôvodu potlačenia sieťového rušenia. Namerané hodnoty sa ďalej priemerujú. Výsledné napätie je priemer zo 100 vzoriek. Priemerovanie slúži k potlačeniu šumu.

6.1.2 Vnútná referencia mikroprocesoru STM32F042F6

Pri meraní a následnom overovaní presnosti kalibrácie boli zistené určité nezrovnalosti. Napájacie napätie určené pomocou vnútornej referencie nezodpovedalo skutočnému napájaciemu napätiu. Rozdiel medzi skutočnou a nameranou hodnotou bol väčší ako presnosť garantovaná výrobcom 10 mV. Vnútna referencia bola testovaná pri rovnakej konfigurácii. Vzorkovacia frekvencia bola 100Hz a doba odberu 239,5 cyklov. Výsledná hodnota je priemerom tvoreným zo 100 vzoriek. Testovaných bolo niekoľko mikroprocesorov STM32F042F6 a taktiež STM32F042K6 na vývojovom kite NUCLEO-F042K6. Chyba bola pravdepodobne zapríčinená zlou kalibračnou hodnotou uloženou v pamäti. Časť pamäti, kde je táto konštanta uložená, je určená iba na čítanie. Z tohto dôvodu nie je možné kalibračnú konštantu zmeniť. Pre zlepšenie presnosti merania bola do prístroja implementovaná možnosť manuálneho zadania napájacieho napätia.

6.1.3 Uživatelské rozhranie meracieho prístroja voltmeter

Merací prístroj voltmeter zobrazuje na terminálovom okne 4 merané napätia a napájacie napätie VDDA merané pomocou vnútornej referencie.

```

COM31 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
Voltmeter
-----
Channel 1 PA1 (7) = 1658 mV
Channel 2 PA2 (8) = 1689 mV
Channel 3 PA3 (9) = 1716 mV
Channel 4 PA4 (10) = 1756 mV
-----
VDDA = 3296 mV
-----
Press 's' to continue
Input ratio: 1:1
Reference: Internal
Matus Obrk FEL CVUT Prague - Department of Measurement 20.5.2019

```

Obrázok 6.2. Grafické rozhranie prístroja voltmeter.

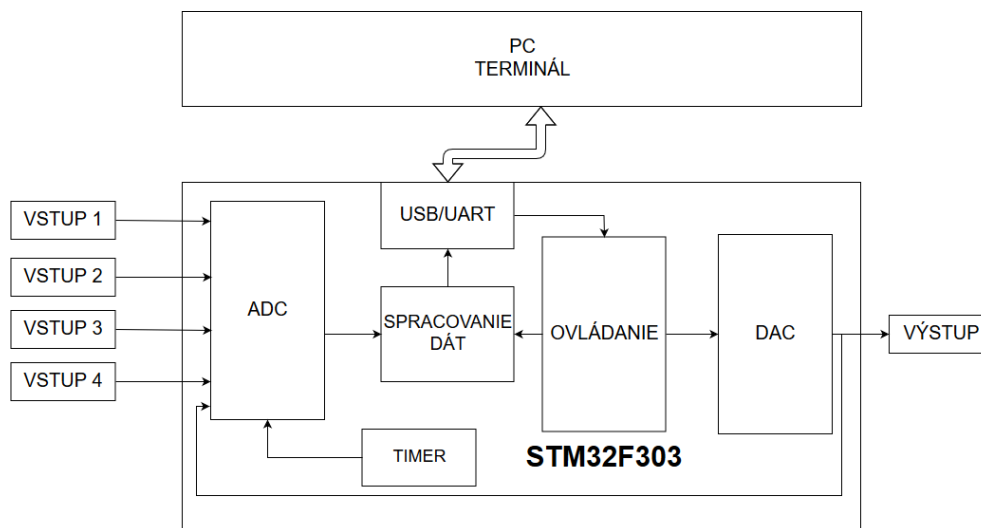
Merací prístroj disponuje funkciami pre pozastavenie merania, zmenu deliaceho pomeru pri využití napätového deliču, zadania napájacieho napätia. Ovládacie znaky sú popísané v tabuľke 6.1.

6.1.4 Merací prístroj voltmeter pre STM32F303RE

Merací prístroj voltmeter pre STM32F303RE disponuje vyššie popísanými funkciami. Navyše bola doplnená funkcionality generovania napätia pomocou DA prevodníku, ktorým mikroprocesor STM32F303 disponuje. Napätie na DA prevodníku je interne merané pomocou AD prevodníku. Maximálna hodnota generovaného napätia je napájacie napätie procesoru.

| Znak | Funkcia |
|------|---|
| s | Pozastavenie merania |
| r | Obnovenie obrazovky |
| x | Zmena deliaceho pomeru (definované pomery: 1:1, 1:2, 1:5, 1:10) |
| m | Manuálne zadanie napájacieho napätia |
| n | Korekcia podľa vnútornej referencie |

Tabuľka 6.1. Ovládanie prístroja voltmeter.



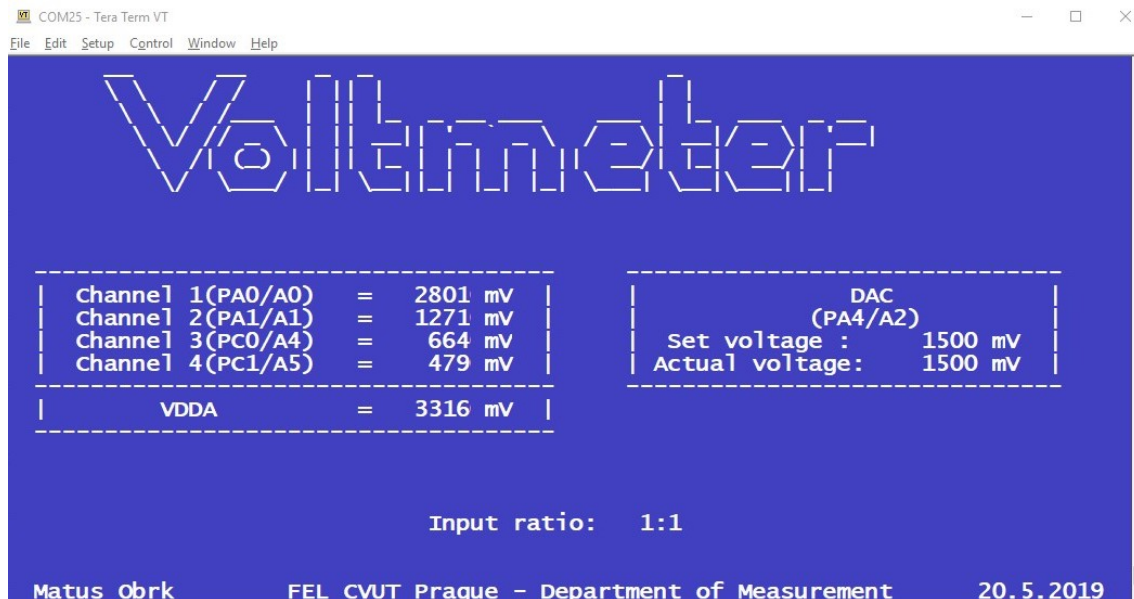
Obrázok 6.3. Bloková schéma prístroja voltmeter pre STM32F303RE.

Meranie napätia prebieha pomocou 12-bitového AD prevodníka so vzorkovacou frekvenciou 100 Hz. Doba odberu vzorku je zvýšená na 603,5 hodinového cyklu. Výsledná doba odberu vzorku je 0,6 ms. Namerané hodnoty sú výsledkom priemeru zo 100 vzoriek. V STM32F303 nebola zistená nezrovnalosť pri meraní napájacieho napätia pomocou vnútornej referencie. Presnosť vnútornej referencie bola v rozsahu garantovaným výrobcom. Výstupné napätie je generované pomocou 12-bitového DA prevodníku. Výstupný kanál DA prevodníku je interne prepojený s kanálom AD prevodníku, čo umožňuje merať výsledné výstupné napätie. Pri meraní však nastáva odchýlka, ktorá je pravdepodobne spôsobená vnútornými kapacitami AD a DA prevodníku.

Ovládanie prístroja voltmeter pre STM32F303 je podobné ako s prístrojom pre STM32F042. Navyše je doplnená funkcionalita zadania výstupného napätia. Odobraná je funkcionalita zadania napájacieho napätia, pretože meranie napájacieho napätia pomocou vnútornej referencie je správne.

| Znak | Funkcia |
|------|--|
| s | Pozastavenie merania |
| r | Obnovenie obrazovky |
| x | Zmena deliaceho pomeru(definované pomery: 1:1, 1:2, 1:5, 1:10) |
| v | Zadanie výstupného napätia |

Tabuľka 6.2. Ovládanie prístroja voltmeter pre STM32F303.



Obrázok 6.4. Grafické rozhranie prístroja voltmeter pre STM32F303.

6.2 Data logger

Data logger slúži na zaznamenávanie dát počas určitého časového úseku. Data logger je možné použiť pre pozorovanie dynamických javov alebo odozvy systému, kde je potrebné merať a zaznamenávať skúmané veličiny počas určitého časového úseku. Realizovaný data logger umožňuje meranie 4 napätí so vzorkovacou frekvenciou definovanou užívateľom. Dáta sú zaznamenávané do terminálovej aplikácie, ktorá podporuje ukladanie dát do súboru. Dáta sú odosielané v definovanom formáte, čo umožňuje ich ďalšie spracovanie:

```
„Čas" \t „Napätie 1" \t „Napätie 2" \t „Napätie 3" \t „Napätie 4" \n\r
```

Bloková schéma prístroja vychádza z prístroja voltmeter (6.1). Data logger je založený na implementácii prístroja voltmeter (6.1.1), ale upravené je zobrazovanie výsledkov, vzorkovacia frekvencia a počet vzoriek pre priemerovanie. Maximálna vzorkovacia frekvencia je definovaná na 100Hz.

6.2.1 Uživatelské rozhranie prístroja data logger

Data logger disponuje jednoduchým užívateľským rozhraním, kde je možné zadať tri parametre. Prvým je predelička vzorkovacej frekvencie „PRESC“. Základná vzorkovacia frekvencia je daná na 100 Hz, výsledná vzorkovacia frekvencia je daná nasledovne:

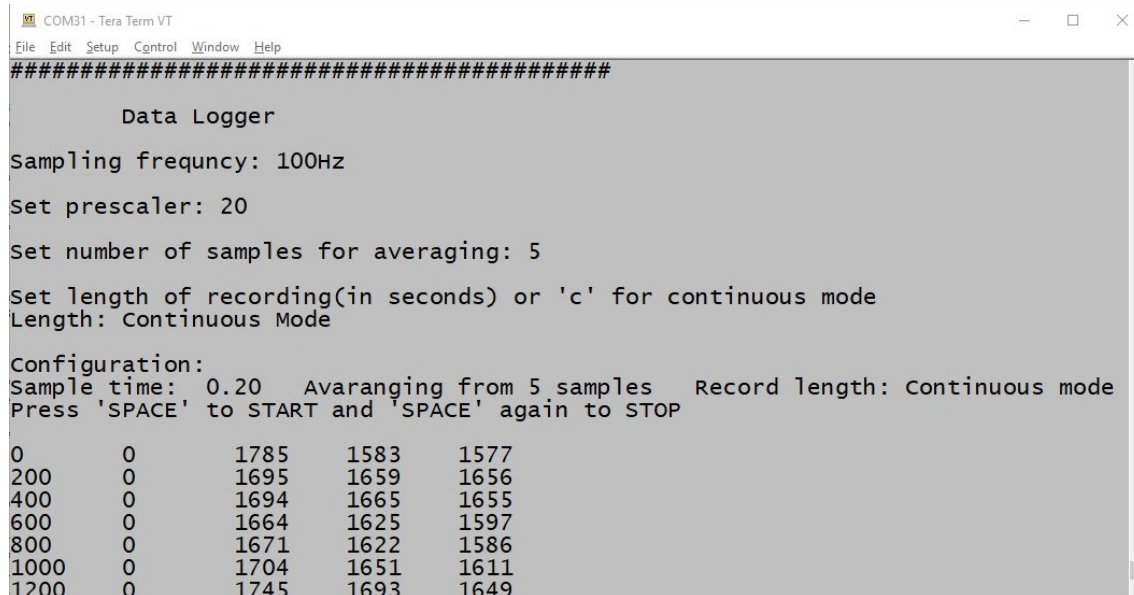
$$f = \frac{100}{PRESC} [Hz]$$

Ďalší parameter je počet vzoriek, z ktorých sa následne počíta priemer. Pre počet vzoriek N platí obmedzenie, ktoré vyplýva zo vzorkovacej frekvencie.

$$N \leq PRESC$$

Ako posledný parameter je možné zadať dobu merania. Doba merania je zadaná v sekundách. Ak užívateľ nemá určenú dobu merania, je možné využiť kontinuálny mód, v

ktorom sa zber dát ukončí po stlačení klávesy „SPACE“. Nahrávanie do súboru je nutné nastaviť v termináli. Pre nahrávanie dát do súboru je vhodné použiť terminálové emulátory TeraTerm a Xterm, pretože umožňujú zapnúť ukladanie dát do súboru aj počas komunikácie so zariadením.



```

COM31 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
#####
Data Logger
Sampling frequency: 100Hz
Set prescaler: 20
Set number of samples for averaging: 5
Set length of recording(in seconds) or 'c' for continuous mode
Length: Continuous Mode

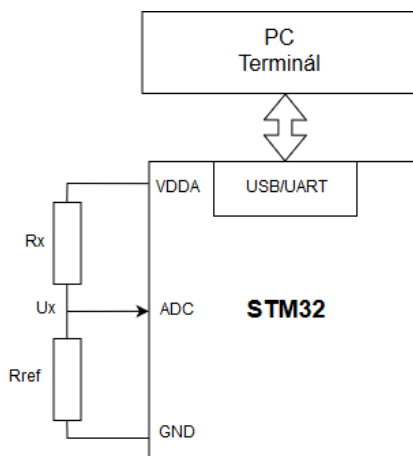
Configuration:
Sample time: 0.20  Avaranging from 5 samples  Record length: Continuous mode
Press 'SPACE' to START and 'SPACE' again to STOP

0      0      1785    1583    1577
200    0      1695    1659    1656
400    0      1694    1665    1655
600    0      1664    1625    1597
800    0      1671    1622    1586
1000   0      1704    1651    1611
1200   0      1745    1693    1649
  
```

Obrázok 6.5. Grafické rozhranie prístroja data logger.

6.3 Merací prístroj ohmmeter

Merací prístroj ohmmeter slúži na meranie neznámeho odporu. Pre meranie sa využíva porovnávacia metóda merania odporu. Táto metóda využíva dva odpory zapojené do série. Jeden odpor je neznámy a jeden odpor slúži ako referencia. Následne sa meria napätie medzi týmito dvoma odpormi. Táto metóda je vhodná pre meranie malých odporov.



Obrázok 6.6. Schéma zapojenia merania odporu.

Výsledný neznámy odpor sa určí nasledovne:

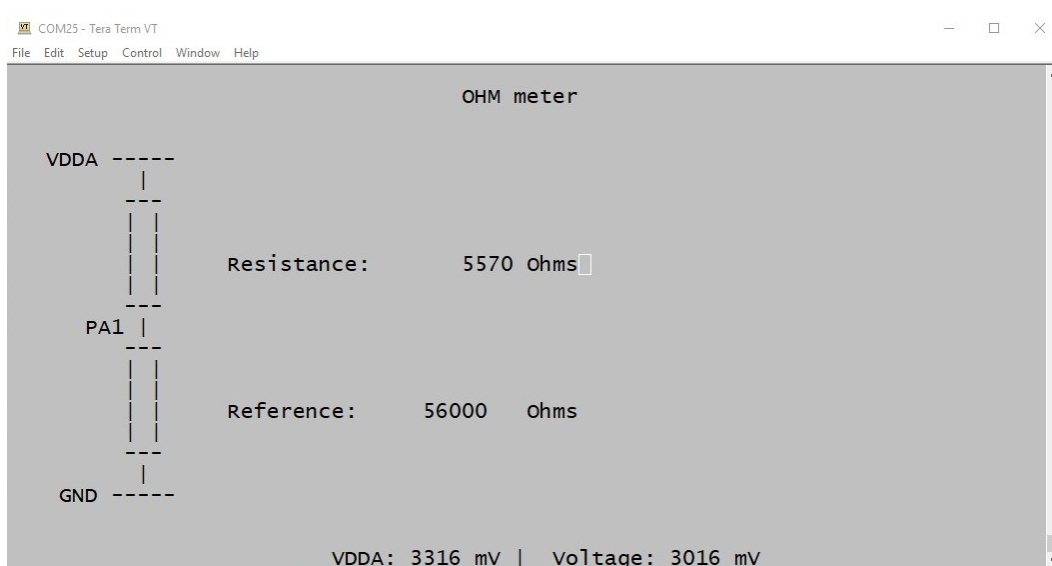
$$R_x = \frac{R_2(U - U_x)}{U_x} [\Omega]$$

Meranie prebieha podobne ako pri prístroji voltmeter. AD prevodník je nastavený na

maximálnu dobu odberu vzorky. Vzorkovacia frekvencia je nastavená na 100 Hz. Výsledná hodnota napätia je priemer zo 100 odobratých vzoriek.

6.3.1 Uživatelské rozhranie meracieho prístroja ohmmeter

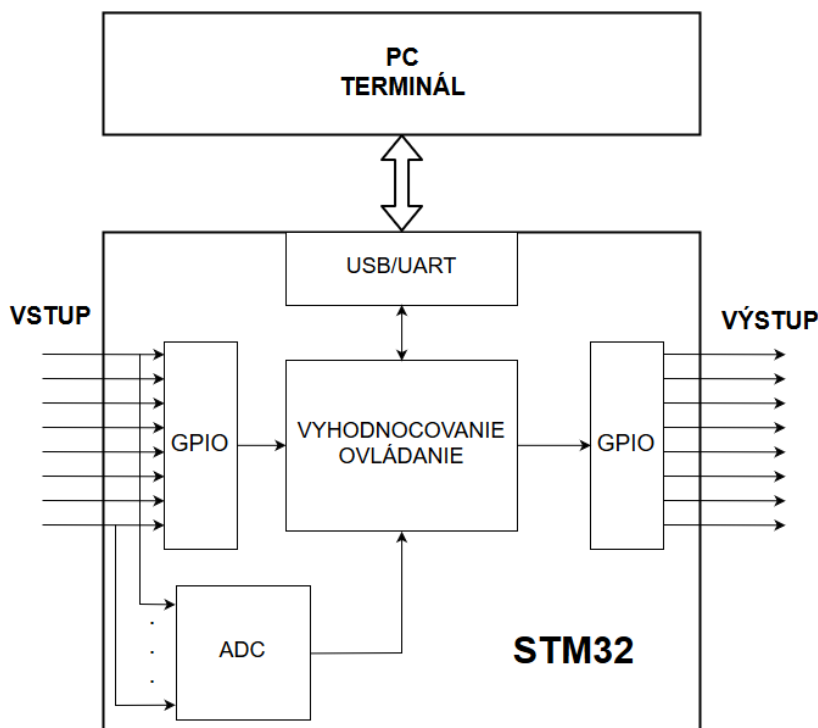
V prístroji ohmmeter je zobrazovaných iba niekoľko číselných údajov. Tieto údaje sú výsledný odpor, namerané napätie a napájacie napätie. Veľkosť referenčného odporu je možné zadať po odoslaní znaku „s“. Hodnota referenčného odporu môže byť zadaná pomocou číslíc alebo s použitím znakov „k“ a „m“, ktoré sa bežne používajú pri označení odporov.



Obrázok 6.7. Grafické rozhranie prístroja ohmmeter.

6.4 Logická sonda

Logická sonda je nástroj, ktorý slúži k testovaniu a pozorovaniu logických obvodov. Pri testovaní logických obvodov je potrebné nastavovať (priviesť) logickú úroveň na vstup a sledovať reakciu obvodu na výstupoch. Tieto funkcie je možné realizovať manuálne pripojením vstupu na zem (GND) – logická 0 alebo pripojením na napájacie napätie (VCC) – logická 1. Výstupnú úroveň je možné manuálne pozorovať napríklad pripojením LED diódy cez odpor na výstup alebo je možné priamo merať výstupné napätie pomocou voltmetru. Takéto riešenie je nepraktické. Logická sonda preto umožňuje monitorovať výstupy logického obvodu a logické úrovne graficky zobrazit prostredníctvom terminálu. Súčasne je možné s použitím terminálu a klávesnice meniť jednotlivé logické výstupy sondy.



Obrázok 6.8. Bloková schéma logickej sondy.

Logická sonda ponúka ešte ďalšie funkcie:

- Čítanie vstupnej logickej úrovne
- Nastavenie výstupnej logickej úrovne
- Meranie napätia na 4 vstupoch
- Nastaviteľný Pull-Up, Pull-Down
- Hodinový signál (Definované periódy signálu: 0,5 s; 1 s; 2 s; 5 s)

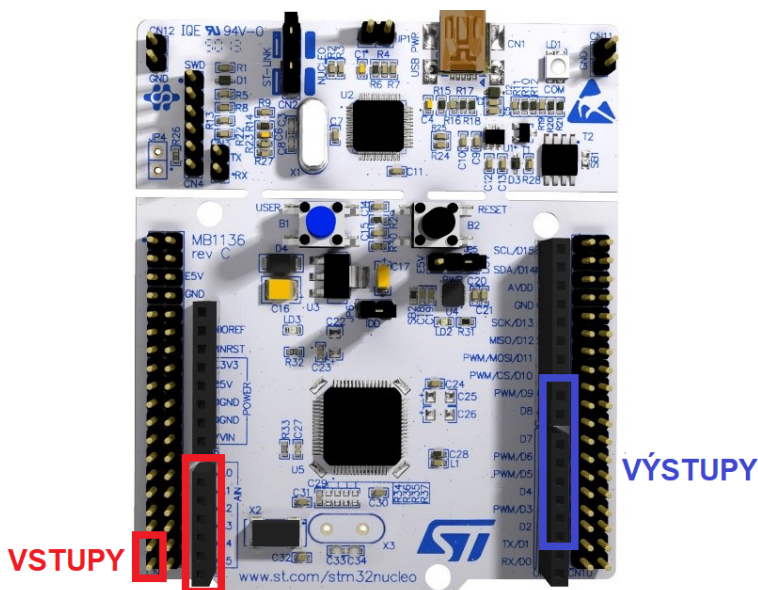
Tieto funkcionality je možné využiť pri testovaní a demonštrovaní logických obvodov. Pri jednoduchých logických obvodoch ako sú logické operácie AND, OR a iné, je potrebné iba sledovať výstupy a nastavovať vstupy. Pri komplexnejších obvodoch ako napríklad posuvný register je okrem manuálneho nastavenia vstupov možné aj využiť nastavenie hodinového signálu. Pomocou logickej sondy s využitím generovania hodinového signálu je možné overenie funkčnosti čítaču.

Napätová úroveň pre logickú 1 je daná napájaním mikroprocesoru, bežne 3,3 V. Táto napätová úroveň postačuje pre prácu s logickými obvodmi TTL, HCT a HC ktorého napájacie napätie je 3,3V. Pri snímaní logickej úrovne je potrebné brať ohľad na napätovú úroveň signálu. Problém nastáva pri použití logických obvodov HC a HCT napájaných z 5V. Úroveň vstupného signálu do sondy je možné upraviť pomocou napätového deliču.

Počet vstupných a výstupných logických kanálov v STM32F042F6 je obmedzený veľkosťou jeho puzdra. V 20-pinovom puzdre je iba pre napájanie a komunikáciu cez USB potrebných 6 pinov (VDD, VDDA, GND, NRST, USB DP, USB DM). Ostatných 14 pinov je použitých pre logickú sondu. Z toho 8 pinov je využitých ako vstup a 6 pinov ako výstup. Vstupné brány sú nastavené ako digitálne, čo umožňuje pripojenie interného Pull-Up alebo Pull-Down. Pri čítaní analógovej hodnoty napätia na vstupe sú vstupné brány nastavené ako analógové. V analógovom móde nie je možné mať na vstupe zapnutý interný Pull-Up alebo Pull-Down, preto sa počas merania napätia odpoja. Na tento jav

je potrebné myslieť, ak meraný logický obvod potrebuje pre svoj správny chod pripojený Pull-Up alebo Pull-Down. Implicitne logická sonda má vypnutú funkciu pre meranie napätia.

Logická sonda pre STM32F303 disponuje 8 vstupnými a 8 výstupnými kanálmi. Tieto kanály sú umiestnené na vývojovom kite NUCLEO-F303 tak, aby boli jednoducho dostupné na Morpho konektoroch.



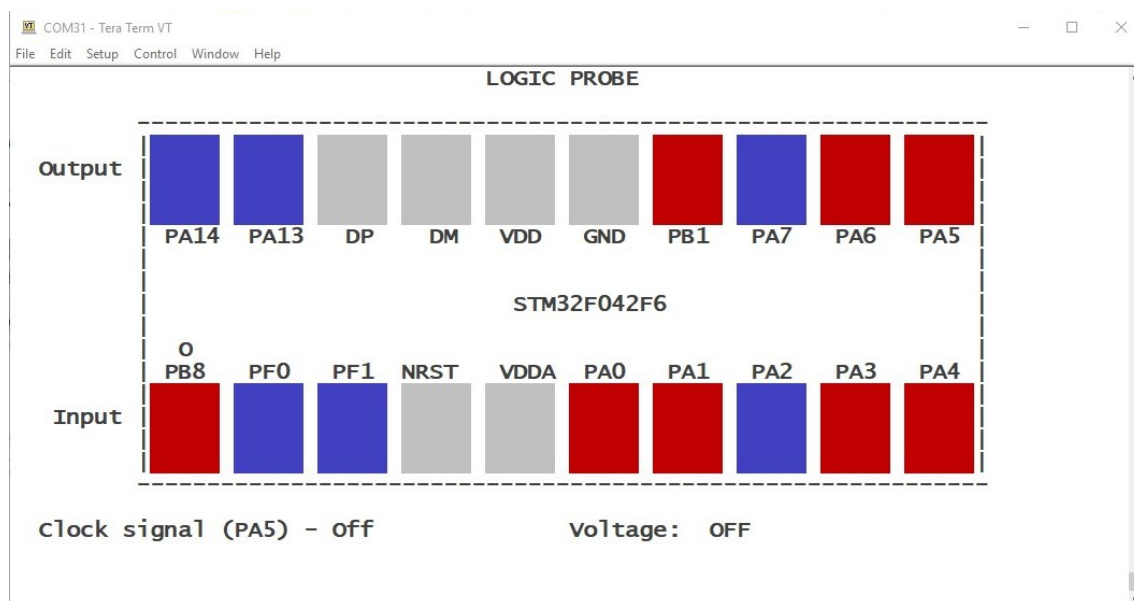
Obrázok 6.9. Umiestnenie vstupov a výstupov logickej sondy.

6.4.1 Implementácia logickej sondy

V základnom režime logická sonda kontroluje vstupné brány s frekvenciou 100Hz. Pri detekcii zmeny logickej úrovne je výsledná logická úroveň zobrazená v terminálovej aplikácii na príslušnom pine. Meranie napätia prebieha s frekvenciou 1 Hz. Doba prevodu jedného kanálu je približne $5 \mu s$. Pre meranie napätia sa používajú 4 externé kanály a jeden interný kanál referencie. Celkový čas odberu vzoriek je približne $25 \mu s$. Po túto dobu je odpojený Pull-Up alebo Pull-Down. Hodinový signál je časovaný pomocou TIM2.

6.4.2 Uživatelské rozhranie prístroja logická sonda

Grafické rozhranie prístroja logická sonda kopíruje tvar 20-pinového puzdra STM32F042F6. Jednotlivé vstupné a výstupné piny sú graficky zobrazené v tvare obdĺžnikov. Rozloženie pinov na obrazovke kopíruje ich reálne umiestnenie v puzdre.



Obrázok 6.10. Grafické rozhranie prístroja logická sonda.

Logická úroveň na vstupe alebo výstupe je označená pomocou farby. Logická 1 je znázornená červenou farbou a logická 0 je znázornená modrou farbou. Šedou sú označené piny, ktoré nie je možné využiť. Ovládanie aplikácie je rozdelené do dvoch módov. V normálnom móde je možné nastaviť výstupnú logickú úroveň, hodinový signál a zapnúť/vypnúť meranie napätia. Pre ovládanie sa používajú nasledujúce znaky:

| Znak | Funkcia |
|-----------|--------------------------------------|
| '1' - '8' | Nastavenie výstupnej logickej úrovne |
| 'c' | Hodinový signál |
| 'v' | Zapnúť/vypnúť meranie napätia |
| 'p' | Vstup do „Pull“ módu |

Tabuľka 6.3. Ovládanie prístroja logická sonda.

V „Pull“ móde je možné nastaviť Pull-Up alebo Pull-Down vstupných pinov. V „Pull“ móde sa využívajú nasledujúce ovládacie prvky:

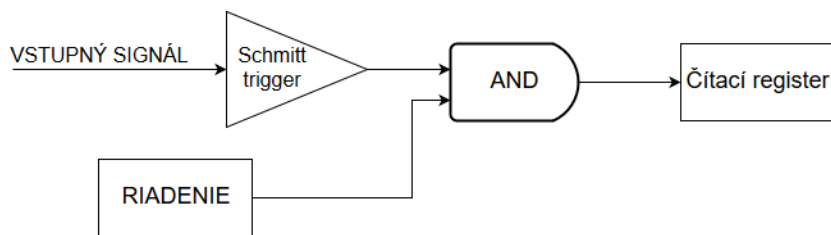
| Znak | Funkcia |
|-----------|--------------------------------------|
| '1' - '8' | Nastavenie výstupnej logickej úrovne |
| 'p' | Navráť z „Pull“ módu |

Tabuľka 6.4. Ovládanie prístroja logická sonda v „Pull“ móde.

Logická sonda pre STM32F303RE má rovnaké ovládanie. Rozdiel v užívateľskom prostredí je iba v zobrazení pinov, pretože sonda pre STM32F303RE má väčší počet vstupných kanálov.

6.5 Čítač frekvencie

Merací prístroj čítač frekvencie slúži k meraniu frekvencie vstupného signálu. Pre meranie frekvencie sa využíva priama metóda. Princípom priamej metódy je počítanie pulzov vstupného signálu za určitý čas.



Obrázok 6.11. Princíp priamej metódy merania frekvencie.

Výsledná frekvencia sa určí podľa nasledovného vzorca, kde n je počet pulzov a T je perióda hradlovania:

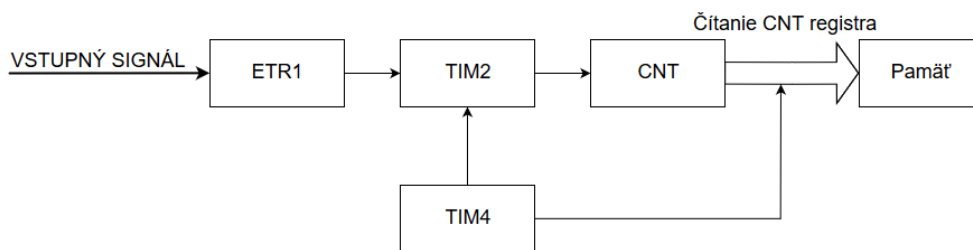
$$f = \frac{n}{T} [Hz]$$

Maximálne rozlíšenie f_{min} frekvencie meranej pomocou priamej metódy je daná dobou hradlovania T :

$$f_{min} = \frac{1}{T} [Hz]$$

6.5.1 Implementácia čítača frekvencie

STM32F042 a STM32F303 obsahujú niekoľko 16-bitových čítačov a 32-bitový čítač TIM2. Z dôvodu zvýšenia rozsahu vstupného signálu je pre čítanie pulzov využitý 32-bitový čítač TIM2. TIM2 je nakonfigurovaný v „Trigger“ móde. Meraný signál je do čítača privedený cez vstup „External trigger 1“. Vstupný signál je ďalej privedený do čítacieho registru, ktorý počíta pulzy. TIM2 pracuje ako „slave“, ktorý je ovládaný čítačom TIM4. TIM4 slúži na meranie doby hradlovania. TIM2 a TIM4 sú naraz spustené a po pretečení Auto-Reload registru TIM4 je čítač TIM2 pozastavený a je prečítaný obsah čítacieho registru.

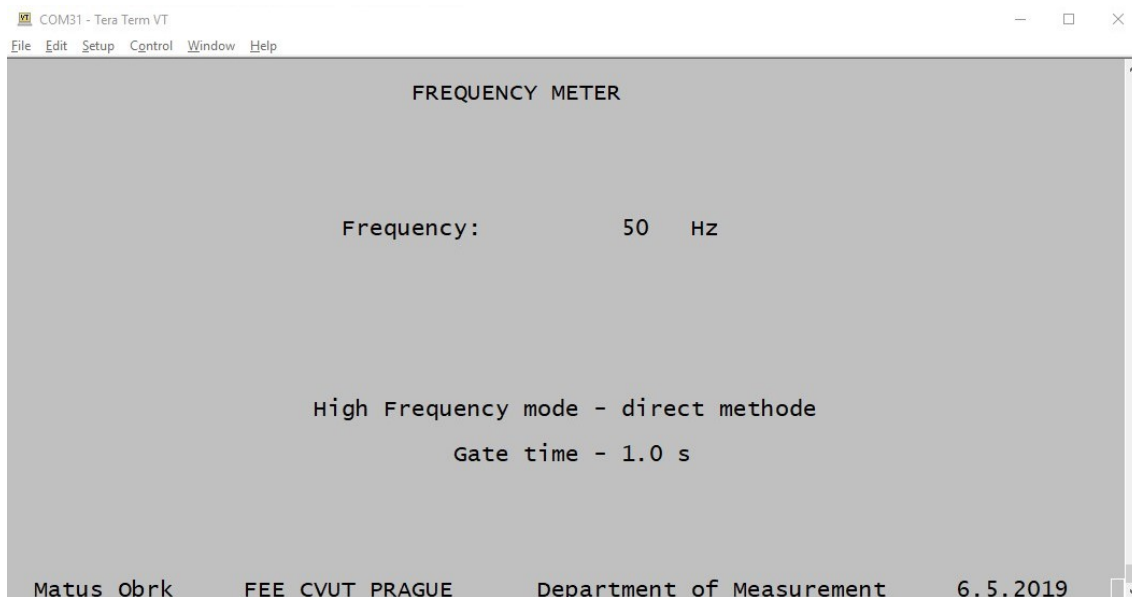


Obrázok 6.12. Bloková schéma merania frekvencie.

Dobu hradlovania čítača TIM4 je možné vybrať z preddefinovaných hodnôt 200 ms, 500 ms, 1 s, 2 s,. STM32F303 umožňuje do TIM2 priviesť hodinový signál o frekvencii 144 MHz, čo je 2-násobok maximálnej frekvencie systémových hodín. Pri použití frekvencie je možné dosiahnuť rozlíšenie asi 7 ns. STM32F042 umožňuje do TIM2 priviesť hodinový signál iba 48 MHz, čo umožňuje dosiahnuť rozlíšenie približne 20 ns.

6.5.2 Uživatelské rozhranie čítača frekvencie

Uživatelské rozhranie čítača frekvencie je pomerne jednoduché. Zobrazovaná hodnota je iba výsledná frekvencia.

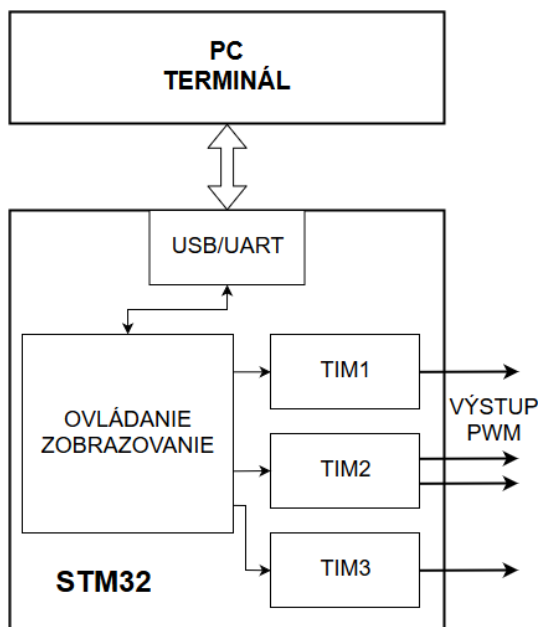


Obrázok 6.13. Grafické rozhranie čítača frekvencie.

Čítač frekvencie má iba jeden nastaviteľný parameter a tým je perióda hradlovacieho času. Hradlovací čas je definovaný na hodnoty 200 ms, 500 ms, 1 s, 2 s. Zmena hradlovacieho času nastane po odoslání znaku 's'.

6.6 Impulzný generátor

Impulzný generátor slúži na generovanie impulzov o danej frekvencii a danej striede. Tak tiež môže byť využitý pre generovanie impulznej šírkovovej modulácie.



Obrázok 6.14. Bloková schéma impulzného generátora.

Impulzný generátor využíva pre generovanie signálu čítača TIM1, TIM2 a TIM3 v móde PWM output. Frekvencie PWM signálu generovaného čítačmi je daná nastavením

Prescaler(TIMx_PSC) a Auto-reload(TIMx_ARR) registrami. Výsledná frekvencia sa vypočíta nasledovne:

$$f = \frac{f_{clock}}{(\text{TIMx_PSC} + 1)(\text{TIMx_ARR} + 1)} [Hz]$$

Strieda signálu je nastavená pomocou Capture-Compare registra(TIMx_CCRx). Strieda PWM signálu sa určí nasledovne:

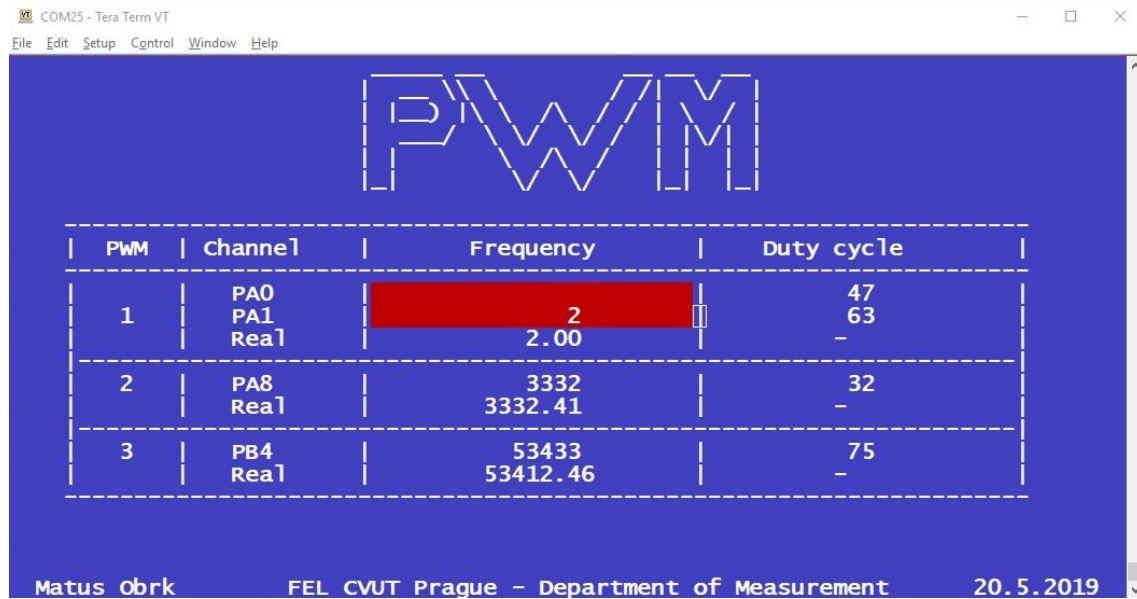
$$\text{Duty cycle} = \frac{\text{TIMx_CCRx}}{\text{TIMx_ARR}} \cdot 100 [\%]$$

Vstupnými údajmi impulzného generátora sú frekvencia a veľkosť striedy. Ako bolo zmienené, frekvencia je daná nastavením Prescaler a Auto-reload registrami. Frekvencia hodinového signálu, ktorým je taktovaný čítač je daná. Z toho vyplýva, že je potrebné nájsť správnu kombináciu hodnôt TIMx_ARR a TIMx_PSC. Hodnotu registra TIMx_ARR je potrebné maximalizovať z dôvodu lepšieho rozlíšenia striedy signálu. Taktiež je vhodné aby strieda signálu bola nastaviteľná na 50% pre prípady, kedy impulzný generátor je využitý ako zdroj hodín. Z tohto dôvodu musí byť TIMx_ARR párna hodnota. Ďalšia podmienka je zvolenie maximálnej hodnoty TIMx_ARR na 10000. Pri tejto veľkosti je rozlíšenie striedy dostatočné. Z týchto podmienok vzniká optimalizačná úloha, kedy je potrebné maximalizovať hodnotu TIMx_ARR registru. Pre hľadanie optimálnej hodnoty je navrhnutý iteračný algoritmus, ktorý hľadá ideálnu kombináciu hodnôt TIMx_ARR a TIMx_PSC. Taktiež je nutné podotknúť, že generátor nedokáže vygenerovať všetky frekvencie. V týchto prípadoch algoritmus hľadá frekvenciu s najmenšou odchýlkou (chybou) od zadanej frekvencie. Pseudokód hľadania ideálnych hodnôt TIMx_ARR a TIMx_PSC:

```
while(TIMx_ARR<10000){
    calculate TIMx_PSC
    calculate actual_error
    if(actual_error<error){
        final_TIMx_ARR = TIMx_ARR
        final_TIMx_PSC = TIMx_PSC
        error = actual_error
    }
    TIMx_ARR+=2
}
```

6.6.1 Uživatelské rozhranie impulzného generátora

Impulzný generátor umožňuje nastavenie troch frekvencií a štyroch stried (TIM1 používa 2 kanály, ktoré generujú signál s rozdielnou striedou, ale rovnakou frekvenciou). Grafické rozhranie používa farebný kurzor pre výber jednotlivých parametrov. Zadanie frekvencie je možné po stlačení klávesy „Enter“. Frekvenciu je možné zadať pomocou číslic.



Obrázok 6.15. Grafické rozhranie impulzného generátora.

Striedu signálu je možné zväčšiť alebo zmenšiť pomocou znakov „u“ a „j“. Na obrazovke je zobrazená aj reálna hodnota frekvencie.

| Znak | Funkcia |
|------|-----------------------------|
| 'w' | Posunutie kurzoru nahor |
| 's' | Posunutie kurzoru nadol |
| 'a' | Posunutie kurzoru dolava |
| 'd' | Posunutie kurzoru doprava |
| 'u' | Zvýšenie hodnoty o 1 |
| 'j' | Zníženie hodnoty o 1 |
| 'f' | Povolenie/Zakázanie kurzoru |

Tabuľka 6.5. Ovládanie impulzného generátora.

Kapitola 7

Zhrnutie dosiahnutých výsledkov

V práci boli realizované základné meracie prístroje s využitím mikrokontrolérov STM32F042F6 a STM32F303RE. V tejto kapitole sú zhrnuté vlastnosti a funkcionality jednotlivých meracích prístrojov.

7.1 Voltmeter

Za účelom merania napätia bol realizovaný 4-kanálový voltmeter s využitím AD prevodníku, ktorým disponujú STM32F042F6 a STM32F303RE. Vzorkovacia frekvencia voltmetra je 100 Hz. Z dôvodu potlačenia šumu je výsledné napätie priemerom zo 100 nameraných vzoriek. Voltmeter disponuje nasledujúcimi funkcionalitami:

- Pozastavenie merania
- Zmena vstupného pomeru - využitie externého napäťového deliča pre zväčšenie vstupného rozsahu
- Nastavenie referenčného napätia – z dôvodu chybnjej vnútornej referencie (iba STM32F042)

7.2 Voltmeter s nastaviteľným zdrojom napätia

Voltmeter s nastaviteľným zdrojom napätia je rozšírený prístroj (7.1) o možnosť nastavenia výstupného napätia pomocou DA prevodníku, ktorým disponuje iba STM32F303RE. Napätie je interne merané pomocou AD prevodníku.

7.3 Záznamník dát pre meranie napätia

Data logger slúži pre záznam nameraného napätia. Data logger je postavený na základe prístroja voltmeter (7.1) a umožňuje pomocou terminálu zápis dát do súboru. Data logger ponúka možnosť nastaviť nasledujúce parametre:

- Vzorkovacia frekvencia
- Počet priemerovaných vzoriek
- Doba záznamu

7.4 Logická sonda

Logická sonda umožňuje testovanie logických obvodov pomocou čítania výstupov meraného logického obvodu a nastavenie logickej úrovne na vstupoch testovaného logického obvodu. Logická sonda zobrazuje úrovne vstupných a výstupných brán pomocou grafickej

terminálovej aplikácie. Pre plné využitie pri testovaní obvodov disponuje nasledujúcimi funkciami:

- Čítanie vstupnej logickej úrovne
- Nastavenie výstupnej logickej úrovne
- Generovanie hodinového signálu
- Nastaviteľný Pull-Up, Pull-Down
- Meranie napätia na 4 vstupoch

7.5 Generátor impulzného signálu

Generátor impulzného signálu generuje obdĺžnikový signál s voliteľnou frekvenciou v rozsahu od 1 Hz po 12 MHz. Taktiež umožňuje nastaviť striedu signálu.

7.6 Čítač frekvencie

Čítač frekvencie umožňuje merať frekvenciu vstupného periodického signálu pomocou priamej metódy merania frekvencie.

7.7 Dostupnosť programov

Prehľad dostupnosti meracích prístrojov pre jednotlivé mikrokontroléry je zaznamenaný v tabuľke 7.1.

| Prístroj | STM32F042F6 | STM32F303RE |
|------------------------------|-------------|-------------|
| Voltmeter | x | |
| Voltmeter so zdrojom napätia | | x |
| Data logger | x | |
| Ohmmeter | x | x |
| Logická sonda | x | x |
| Generátor impulzného signálu | x | x |
| Čítač frekvencie | x | x |

Tabuľka 7.1. Prehľad realizovaných prístrojov.

Kapitola 8

Záver

Náplňou tejto práce bolo navrhnuť a realizovať základné meracie prístroje pre výukové laboratória s využitím mikrokontrolérov STM32. Meracie prístroje boli realizované s využitím metódy softvérovo definovaných prístrojov. Zobrazenie údajov a ovládanie prístrojov je realizované prostredníctvom nadriadeného PC, ku ktorému je prístroj pripojený pomocou rozhrania USB. Na ovládanie prístroja sa používa terminálová aplikácia bežiacia na PC. Táto vlastnosť zabezpečuje univerzálnosť prístroja, pretože nie je viazaný iba na vlastnú aplikáciu a na konkrétny operačný systém. V rámci práce boli realizované prístroje voltmeter, ohmmeter, impulzný generátor, čítač frekvencie, záznamník dát, logická sonda pre mikrokontroléry STM32F042F6 a STM32F303RE (viac v kapitole 7). Tieto prístroje sú typu „Plug and Play.“ Do zariadenia stačí iba nahráť príslušný firmvér a pripojiť k PC, ktorý disponuje vhodným terminálovým emulátorom.

V práci bola navrhnutá a vysvetlená metodika tvorby softvérovo definovaných meracích prístrojov a tvorby grafického užívateľského prostredia v terminálovej aplikácii.

Literatúra

- [1] FEL ČVUT. *LPE - Laboratoře z průmyslové elektroniky a senzorů - Software [online]*. https://embedded.fel.cvut.cz/kurzy/lpe_sw. [cit. 2019-05-03].
- [2] Joseph Yiu. *The Definitive Guide to ARM Cortex-M0 and Cortex-M0+ Processors*. Druhé vydanie. Elsevier, 2015. ISBN 978-0-12-803277-0.
- [3] STMicroelectronics. *AN2834 Application note: How to get the best ADC accuracy in STM32 microcontrollers, Rev. 3 [online]*. 2017. https://www.st.com/resource/en/application_note/cd00211314.pdf.
- [4] STMicroelectronics. *STM32F042x4 STM32F042x6, Rev. 5 [online]*. 2017. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f042c6.pdf>.
- [5] STMicroelectronics. *STM32F303xD STM32F303xE, Rev. 5 [online]*. 2016. www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f303zd.pdf.
- [6] STMicroelectronics. *RM0091 Reference manual, Rev. 9 [online]*. 2017. https://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00031936.pdf.
- [7] STMicroelectronics. *UM1724 User manual: STM32 Nucleo-64 boards (MB1136), Rev. 13 [online]*. 2019. https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00105823.pdf.
- [8] STMicroelectronics. *RM0316 Reference manual, Rev. 8 [online]*. 2017. https://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00043574.pdf.
- [9] STMicroelectronics. *UM2237 User manual, Rev. 7 [online]*. 2019. https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00403500.pdf.
- [10] ECMA. *Standard ECMA-48: Control Functions for Coded Character Sets, Fifth Edition [online]*. 1991. <https://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/Ecma-048.pdf>.
- [11] *ANSI Escape sequences [online]*. 2019. <http://ascii-table.com/ansi-escape-sequences-vt-100.php>. [cit. 2019-05-13].

Príloha A

Nahrávanie programu do mikrokontroléru

- Nucleo-F303RE - Nucleo sa pri pripojení k PC javí ako úložné zariadenie. Firmvér vo formáte binárneho súboru je možné nahráť jednoduchým skopírovaním a vložením do pripojeného úložného zariadenia. Taktiež je možné využiť vstavaný programovací nástroj ST-LINK a aplikáciu pre obsluhu ST-LINK ako ST-Link Utility alebo STM32CubeProgrammer.
- STM32F042F6 - Firmvér je možné nahráť prostredníctvom USB alebo UART s využitím multiplatformového softvérového programovacieho nástroja ako STM32CubeProgrammer (popísané v časti 3.10.6). Taktiež je možné využiť externý ST-LINK a aplikáciu pre obsluhu ST-LINK ako ST-Link Utility alebo STM32CubeProgrammer.

Príloha B

Obsah priloženého CD

Priložené CD obsahuje nasledujúce súbory:

- Základni_merici_pristroje_pro_vyukove_laboratore_realizovane_mikroradicem.pdf
- basic_measurement_instruments.zip - (Realizované prístroje vo formáte binárneho súboru)
- basic_measurement_instruments_source.zip - (Zdrojové kódy realizovaných prístrojov)

Príloha C

Použité skratky

| | |
|-------|--|
| AD | Analógovo-digitálny |
| I/O | Input/output - vstupno/výstupný |
| DA | Digitálny-analógový |
| GPIO | General-purpose input/output |
| USB | Univerzálna sériová zbernica |
| USART | Univerzálny synchronný/asynchronný prijímač a vysielateľ |
| TIM | Timer - čítač |
| HAL | Abstrakcia hardvérovej vrstvy |
| LL | Low layer knižnice |
| ANSI | American National Standards Institute |
| ECMA | European Computer Manufacturers Association |