

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Žolna** Jméno: **Ján** Osobní číslo: **453245**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Přípravek s deskou Discovery

Název bakalářské práce anglicky:

Interface for Discovery kit

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s vývojovým přípravkem STM32F429 a jeho využitím v rámci dalších prací.
2. Realizujte úpravy přidaného inkrementálního ovladače a zálohování napájení.
3. Navrhněte programovou podporu připojených prostředků.
4. Zpracujte vzorové příklady s využitím monitoru RTM
5. Zpracujte dokumentaci a ověřte funkčnost navrhovaných úprav a příkladů.

Seznam doporučené literatury:

- [1] STM, 'PM0214: STM32F3 Series, STM32F4 Series, STM32L4 Series and STM32L4+ Series Cortex®-M4 programming manual'. STM.
- [2] STM, 'RM0090: STM32F405/415, STM32F407/417, STM32F427/437 and STM32F429/439 advanced Arm®-based 32-bit MCUs'. STM.
- [3] Šenkýř Arnošt, 'Aplikace RTM pro přípravek Discovery', Diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická.
- [4] Žolna Ján, 'Úpravy vývojového kitu Discovery', Bakalářský projekt, ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Karel Künzel, CSc., katedra elektrotechnologie FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2019** Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

Ing. Karel Künzel, 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



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra elektrotechnologie**

Přípravek s deskou Discovery

Interface for Discovery kit

Bakalářská práce

Studijní program:
Studijní obor:
Vedoucí práce:

Elektrotechnika, energetika a management
Aplikovaná elektrotechnika
Ing. Karel Künzel, CSc.

Ján Žolna

**srpen 2019
Praha**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

podpis:

Pod'akovanie

Chcel by som sa poďakovať svojmu vedúcemu, Ing. Karlu Künzelovi, CSc., za pomoc s realizáciou tejto bakalárskej práce.

Anotácia (Abstrakt)

Bakalárska práca na tému „Prípravok s deskou Discovery“ sa skladá zo šiestich kapitol. Druhá kapitola približuje prípravok Discovery, s ktorým budem pracovať počas celej práce. Ďalej opisuje procesor a periférne časti tohto prípravku. V ďalšej kapitole sa budem venovať hardvérovému riešeniu zálohovacej batérie, hodín reálneho času a inkrementálneho ovládača. Tieto riešenia softvérovo implementujem v štvrtej kapitole. Piata kapitola opisuje navrhnuté grafické rozhranie. Na záver overím funkčnosť navrhnutých zapojení a zhodnotím výsledky práce.

Kľúčové slová

Discovery kit, inkrementálny ovládač, zálohovacia batéria, tlačidlový filter, FreeRTOS.

Annotation (Abstract)

Bachelor thesis on the topic „Interface for Discovery kit“ is divided into five chapters. Second chapter describes Discovery kit, which I'm going to use during the whole thesis. It also describes microcontroller and peripherals on the board. Next chapter talks about hardware solution for backup battery, real-time clock and rotary switch. Code for implementation of these circuits is in chapter four. Fifth chapter describes graphical user interface. At the end I'm going to verify functionality of designed circuits and evaluate results of my thesis.

Key words

Discovery kit, backup battery, rotary switch, debounce filter, FreeRTOS.

OBSAH

1. Úvod.....	3
2. Discovery kit	4
2.1 Mikrokontrolér.....	5
2.2 Display	6
2.3 Periférie.....	6
3. Hardvérové riešenie.....	7
3.1 Doska s inkrementálnym ovládačom	9
3.1.1 Inkrementálny ovládač.....	9
3.1.2 Filter proti zákmitom	10
3.2 Hlavná doska.....	11
3.2.1 Oscilátor.....	11
3.2.2 Obvod pre zálohovací akumulátor	12
4. Softvérové riešenie	16
4.1 Nastavenie vstupov a výstupov.....	16
4.2 FreeRTOS	17
4.3 Implementácia inkrementálneho ovládača.....	19
4.4 Integrácia RTM.....	19
5. Grafické rozhranie.....	20
6. Záver	22
Zoznam použitých zdrojov	23
Príloha A: Hlavná doska	24
Príloha B: Doska s ovládačom.....	26
Príloha C: Obsah priloženého CD.....	28

Zoznam obrázkov a tabuliek

Obrázok 1 Discovery kit (1 s. 1)	4
Obrázok 2 Blokové schéma Discovery kitu (1 s. 9).....	5
Obrázok 3 Blokové schéma prípravku.....	7
Obrázok 4 Ovladač XpressNet (6 s. 26)	7
Obrázok 5 Navrhnuté zapojenie.....	8
Obrázok 6 Zapojenie v krabičke	8
Obrázok 7 Prípravok v krabičke	9
Obrázok 8 Model dosky s inkrementálnym ovládačom.....	9
Obrázok 9 Inkrementálny ovládač (7)	10
Obrázok 10 Zapojenie tlačidla	10
Obrázok 11 Zapojenie filtra proti zákmitom.....	11
Obrázok 12 Model hlavnej dosky	11
Obrázok 13 Schéma pripojenia Vbat pinu (1 s. 32).....	12
Obrázok 14 Vybíjacia charakteristika li-ion akumulátoru LIR2450 (9 s. 7)	13
Obrázok 15 Schéma zapojenia lineárneho regulátora napätia	14
Obrázok 16 Schéma zapojenia nabíjacieho obvodu.....	15
Obrázok 17 Chod programu vo FreeRTOS (13).....	17
Obrázok 18 Hlavná obrazovka na Discovery kite.....	20
Obrázok 19 Hlavná obrazovka GUI.....	20
Obrázok 20 Obrazovka pre LED diódy	21
Obrázok 21 Obrazovka pre rotačný enkodér	21
Tabuľka 1 Nastavenie portov.....	17

1. Úvod

V tejto bakalárskej práci budem pracovať s vývojovým kitom STM32F429IDISCOVERY. K tomuto kitu navrhmem obvody, ktoré rozšíria funkcionality o hodiny reálneho času a pripojím inkrementálny ovládač spolu s filrami proti zákmitom. Zapojenie bude navrhnuté tak, aby sa zmestilo do vymodelovanej krabičky. Navrhnuté obvody budú softvérovo sfunkčnené. Ďalej navrhmem grafické rozhranie. Výsledok tejto práce má poskytnúť základ pre ďalšie aplikácie Discovery kitu v projektoch a pri výuke.

Cieľ práce

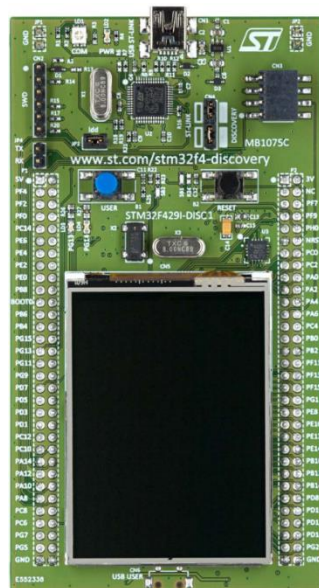
Cieľom bakalárskej práce je pripraviť platformu s Discovery kitom, ktorá by umožnila ďalší vývoj a uľahčila prácu s procesormi z rady STM32. Návrh má rozširovať funkcionality Discovery kitu a zároveň poskytnúť priestor na jeho ďalšie zlepšovanie. Integrovaním zálohovacej batérie by sa mal sfunkčnit' obvod hodín reálneho času a pripojenie inkrementálneho ovládača by malo uľahčiť ovládanie LCD displeja. Táto platforma by takto mala poskytnúť základ, či už na implementáciu obvodov pracujúcich s mikrokontrolérmi, ale aj na tvorbu softvéru pre mikrokontroléry.

2. Discovery kit

Discovery kit je vývojový nástroj od firmy ST Microelectronics postavený na procesore STM32F429ZI. Tieto kity sú navrhnuté na zjednodušenie stavby prototypov a testovanie programov na procesoroch z rady STM32. Medzi hlavné výhody týchto kitov patrí integrovaný programátor ST-LINK/V2 (procesor STM32F103), vďaka ktorému stačí na naprogramovanie a komunikáciu s počítačom len USB kábel. Ten je pripojený cez mini USB konektor, cez ktorý môžeme aj napájať dosku. Napätie 5V z USB je znížené napäťovým regulátorom na 3V pre procesor a ostatné obvody.

Oproti ostatným kitom, či už Discovery alebo Nucleo, má tento navyše 2,4 palcový dotykový TFT display, externú SDRAM, ST MEMS gyroskop a USB OTG funkcionality.

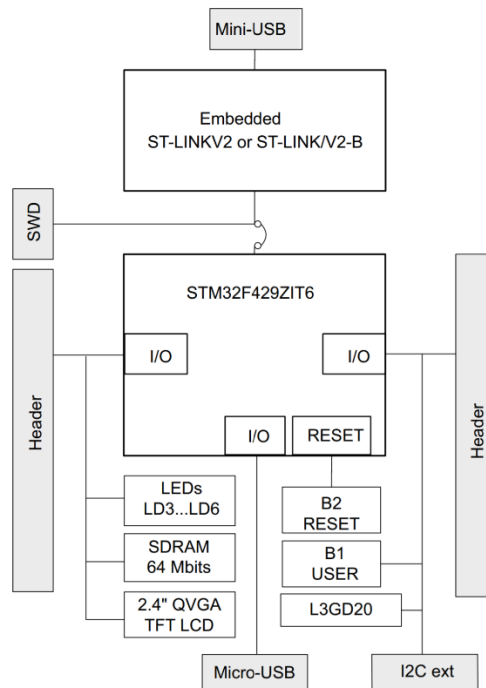
(1)



Obrázok 1 Discovery kit (1 s. 1)

Parametre: (1)

- mikrokontrolér STM32F429ZIT6
- 2,4“ QVGA TFT display (dotykový)
- 64-Mbit externá SDRAM
- L3GD20, ST-MEMS (3-axiálny gyroskop)
- 6 LED (2 užívateľské)
- 2 tlačidlá (1 užívateľské, 1 reset)
- USB OTG
- programátor ST-LINK/V2



Obrázok 2 Blokové schéma Discovery kitu (1 s. 9)

Na rozšírenie funkcionality kit obsahuje dvojradowé 64-pinové konektory po oboch stranách. Na ne je vyvedená väčšina pinov z mikrokontroléru. Práve cez tieto konektory bude kit prichytený k navrhnutému prípravku.

2.1 Mikrokontrolér

Hlavnou výpočtovou jednotkou prípravku je 32-bitový ARM mikrokontrolér STM32F429ZI s jadrom Cortex M4. Jeho maximálna frekvencia je 180MHz. Jedná sa o výkonný procesor, ktorého výkon bude dostačujúci pre túto prácu.

Mikrokontrolér je zapuzdrený v 144 pinovom LQFP144 puzdre, ktorého porty sú schopné zniesť napätie až do 5V. Mikrokontrolér môžeme napájať napätím od 1,7V až do 3,6V. K procesoru je pripojený oscilátor s frekvenciou 8 MHz a má piny na pripojenie 32,768 kHz oscilátoru pre obvod s hodinami reálneho času.

Pre tento kit s displejom bol vybraný mikrokontrolér STM32F429ZI práve kvôli integrovanému LCD-TFT display radiču. Na naprogramovanie je možno použiť štandard JTAG alebo SWD. Mikrokontrolér dokáže pracovať v rôznych režimoch napájania. Počas fungovania sa snaží čo najviac optimalizovať spotrebu a preto má aj tri špecifické režimy, ktoré sú optimalizované na čo najmenší odber (Sleep, Stop, Standby). S inými zariadeniami dokáže komunikovať pomocou väčšiny štandardných komunikačných protokolov (UART, CAN, SPI, I2C, a pod.). (2)

Moderné mikrokontroléry ako tento, obsahujú množstvo prídavných obvodov na uľahčenie zložitejších a výpočtovo náročnejších operácií. Jedna z nich je DMA(direct memory access),

ktorá umožňuje niektorým periférnym obvodom priamy prístup do pamäte bez toho aby bol procesor zaťažovaný. Na plynulé vykresľovanie grafického rozhrania je integrovaná funkcia Chrom-ART Accelerator (DMA2D). Ďalšou s technológií je operačný systém reálneho času (real-time operating system, skratka RTOS) vo verzii FreeRTOS. Ten je popísaný v kapitole 4.2 FreeRTOS.

Parametre (2):

- 32-bitové Cortex M4 jadro s FPU(floating-point unit) s maximálnou frekvenciou 180MHz
- 2MB Flash pamäť
- 256+4kB SRAM
- LCD-TFT radič
- 3x12 A/D prevodníkov a 2x12 D/A prevodníkov
- 3xI2C, 4xUSART/4xUART, 6xSPI, 2xCAN
- 17 časovačov
- RTC obvod
- radič pre kameru
- podpora pre FreeRTOS

2.2 Display

Ako som už spomínal medzi najväčšie výhody tohto kitu patrí procesor s radičom pre LCD display. Je využívaný na obsluhu 2,4“ RGB TFT LCD displeja s rozlíšením QVGA, čiže 240x320 pixelov. Je to model SF-TC240T-9370A od firmy Saef Technology s rezistívnym dotykovým ovládaním. (3)

2.3 Periférie

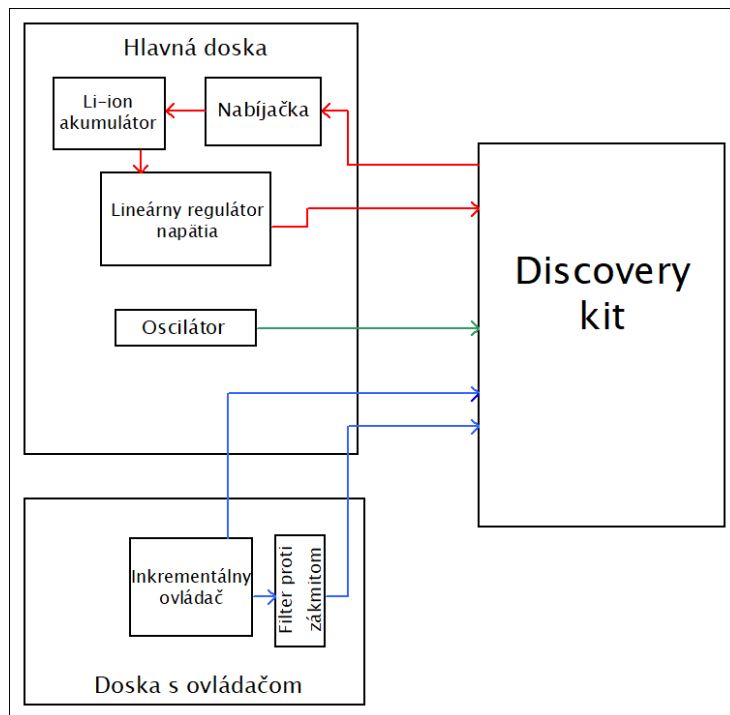
Na podporu displeja je v kite zahrnutá 64 Mbit SDRAM od firmy ISSI. Slúži hlavne na prácu s displejom. Mikrokontrolér z nej číta a zapisuje dáta s frekvenciou 80MHz. (4)

Medzi ďalšie periférie patrí L3GD20, čo je MEMS pohybový senzor od STMicroelectronics. Obsahuje 3-osý gyroskop a teplotný senzor. Mikrokontrolér s ním komunikuje po zbernici SPI. (5)

USB On-To-Go (USB OTG) funkcionálna umožňuje point-to-point komunikáciu po USB zbernici. USB OTG ani MEMS senzor nebudem vo svojej bakalárskej práci využívať.

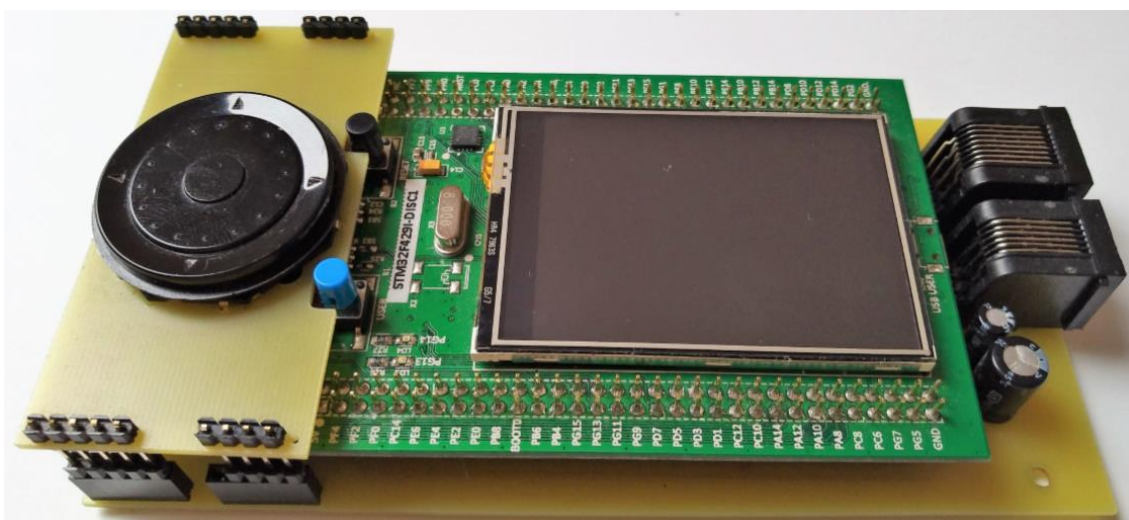
3. Hardvérové riešenie

Hlavnou časťou mojej bakalárskej práce bolo sfunkčniť obvod hodín reálneho času a navrhnuť zapojenie inkrementálneho ovládača. Toto zadanie som rozdelil do dvoch častí.



Obrázok 3 Blokové schéma prípravku

Hlavná doska (Base board), na ktorej je zálohovacia batéria a jej prislúchajúce obvody, obvod pre 32,768 kHz oscilátor a konektory pre Discovery kit a dosku s ovládačom (Encoder board). Na doske s ovládačom je umiestnený inkrementálny ovládač spolu s obvodmi na filtrovanie signálu a 3 LED diódy.



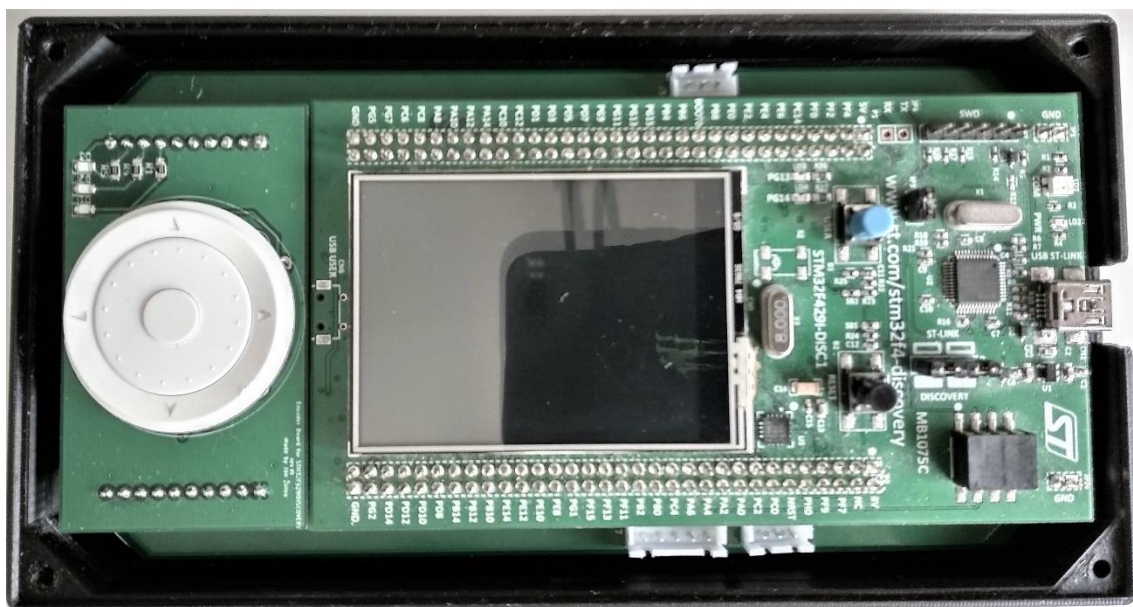
Obrázok 4 Ovladač XpressNet (6 s. 26)

Tento koncept bol inšpirovaný diplomovou prácou Ing. Mikulcsa. Pri navrhovaní som sa ale rozhodol umiestniť dosku s ovládačom vedľa Discovery kitu. Vďaka tejto úprave je inkrementálny ovládač na rovnakej úrovni ako display a navyše nie je potrebná úprava Discovery kitu a odstraňovanie konektorov.



Obrázok 5 Navrhnuté zapojenie

Celé toto zapojenie je navrhnuté tak, aby sa zmestilo do krabičky, ktorá je na *Obrázok 7 Prípravok v krabičke*. Tá bola navrhnutá s presnými otvormi na display, tlačidla, inkrementálny ovládač a mini USB konektor. Pre čo najľahšiu montáž, no zároveň pre mechanickú pevnosť, je hlavná doska prichytená na dištančné stĺpiky, ktoré sú prilepené vo vopred vymodelovaných dierach na spodnej časti krabičky.



Obrázok 6 Zapojenie v krabičke

Discovery kit a doska s ovládačom sú potom zasunuté do konektorov, ktoré poskytujú dostatočné elektrické aj mechanické spojenie. Nakoniec sa prichytí vrchná časť krabičky cez 250mm M3 skrutky.

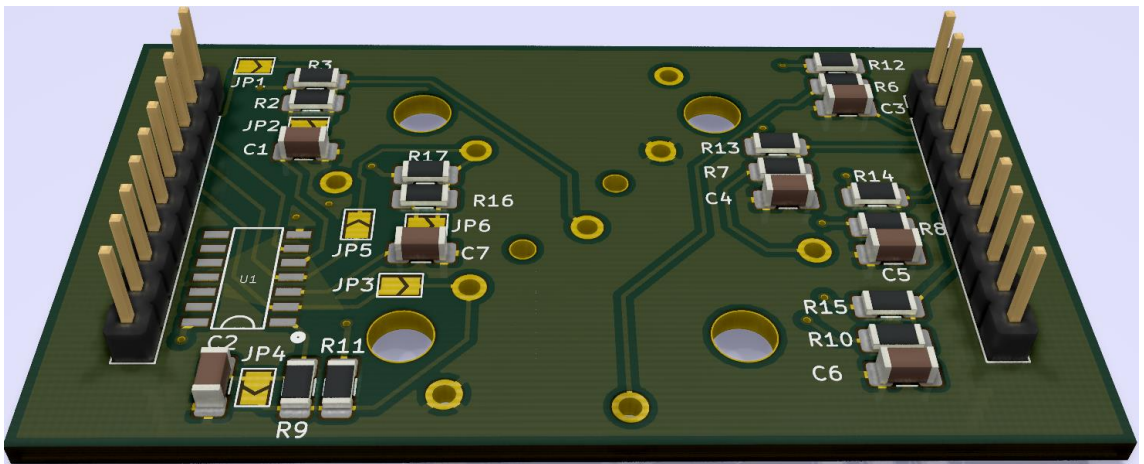


Obrázok 7 Prípravok v krabičke

Model krabičky som navrhol v programe Autodesk Inventor a vytlačil na 3D tlačiarňi (materiál PLA). Plošné spoje boli navrhnuté v programe KiCad a vyrobené vo firme Allpcb. Súbory s krabičkou a plošnými spojmi sú nahrané na priloženom CD Príloha C: Obsah priloženého CD.

3.1 Doska s inkrementálnym ovládačom

Doska s inkrementálnym ovládačom má rozmery 65mmx37,5mm. K hlavnej doske je prichytená dvomi 10-pinovými konektormi. Okrem obvodov opísaných nižšie doska navyše obsahuje 3 LED diódy.



Obrázok 8 Model dosky s inkrementálnym ovládačom

3.1.1 Inkrementálny ovládač

Podľa pokynov vedúceho bakalárskej práce som mal použiť inkrementálny ovládač ANO-I1W-M1W-02W od firmy Zippy. Ovládač má 4 tlačidlá po stranách, jedno stredové tlačidlo a rotačný enkodér medzi nimi. Vďaka tvaru a počtu tlačidiel má tento ovládač

najväčšie uplatnenie v konzumnej elektronike. Je ideálny na ovládanie grafického rozhrania a preto bol vybraný na aplikáciu s Discovery kitom. Elektricky je rozdelený na 2 časti. Kanál A, B a stredové tlačidlo S1 majú spoločný vstup COM_A a ostatné tlačidlá S2 až S5 sú spojené v COM_B. COM_A a COM_B nie sú spolu prepojené.



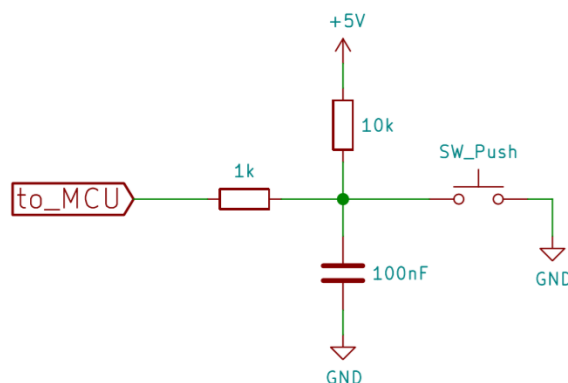
Obrázok 9 Inkrementálny ovládač (7)

Parametre: (7)

- menovité napätie: 10V
- menovitý prúd: 1mA
- počet polôh inkrementálneho ovládača: 24
- minimálny počet cyklov: 200000 (inkrementálny ovládač), 1000000 (tlačidlo)

3.1.2 Filter proti zákmitom

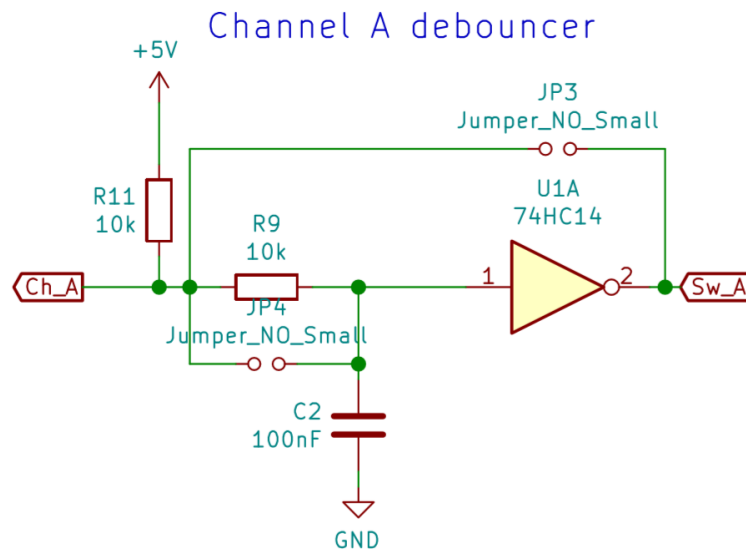
Keďže je tento mikrokontrolér schopný snímať vstupný port s vysokou frekvenciou, tak zákmity pri spínaní tlačidiel by mohli robiť problémy. Na filtrovanie týchto tlačidiel som k nim teda paralelne pripojil 100nF kondenzátor. Ďalej je tam pripojený 10kΩ pull-up rezistor a ochranný 1kΩ rezistor.



Obrázok 10 Zapojenie tlačidla

Keďže kanály z inkrementálneho ovládača môžu spínať s väčšou frekvenciou ako tlačidlá, rozhodol som sa, že na ich filtrovanie použijem obvod s invertorom. Použil som integrovaný obvod 74HC14, ktorý má 6 invertorov. Je napájaný z 5V. Tento obvod sa dá zmeniť

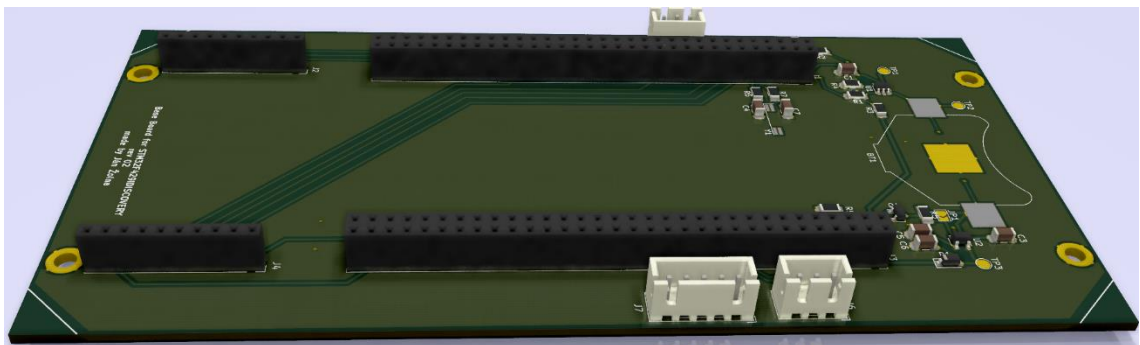
prepojením kontaktov JP1 až JP6 na tlačidlo s pull-up rezistorom a filtrovacím kondenzátorom. Pri návrhu som sa inšpiroval zapojením z knihy Art of Electronics. (8 s. 730)



Obrázok 11 Zapojenie filtra proti zámkom

3.2 Hlavná doska

Hlavná doska s rozmermi 160mmx80mm vyplňuje takmer celú plochu krabíčky. Konektory pre Discovery kit a dosku s inkrementálnym ovládačom sú umiestnené tak aby display a ovládač sedeli do otvorov na hornej časti krabíčky. Keďže je hlavná doska na oboch stranách približne o 7,5mm širšia ako dosky nad ňou, umožňuje tak umiestnenie konektorov na komunikáciu s inými zariadeniami.



Obrázok 12 Model hlavnej dosky

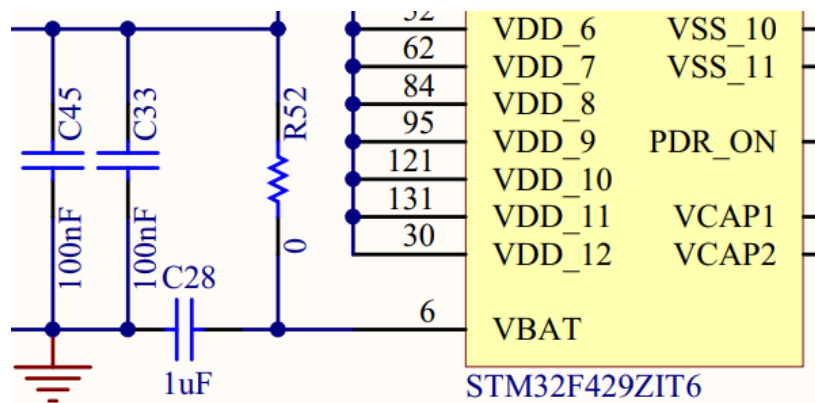
3.2.1 Oscilátor

Aj keď má Discovery kit už implementovaný obvod pre 32,768kHz oscilátor, rozhodol som sa implementovať to isté zapojenie aj na hlavnej doske. (1 s. 32) Dôvod bol ten, že Discovery kit sa predáva bez prepojeného hodinového oscilátoru a tak sú piny z mikrokontroléru priamo vyvedené na konektor do hlavnej dosky. Konečný používateľ prípravku sa tak môže rozhodnúť či upraví Discovery kit pripájaním oscilátoru X2,

kondenzátorov C23 a C24, rezistorov R53 a R54 a prerušením kontaktov SB16 a SB17, alebo sa rozhodne použiť oscilátor na hlavnej doske. Ten, ale vďaka tomu, že k nemu vedie dlhšia cesta, môže byť rušený a nie tak presný.

3.2.2 Obvod pre zálohovací akumulátor

Jedno z hlavných zadaní bakalárskej práce bolo sfunkčniť obvod hodín reálneho času. Táto úloha bola najnáročnejšia na aplikáciu práve kvôli zapojeniu na Discovery kite. Zálohovacie batérie sa na mikroprocesoroch pripájajú na pin s názvom VBat. Tento pin napája obvod hodín reálneho času práve vtedy, keď je hlavné napájanie vypnuté. Keď však návrhár dosky napočíta s tým, že bude pin VBat používať, pripojí ho na napájanie. Práve tak je zapojený tento pin na Discovery kite cez rezistor R52. Navrhované riešenie vedúceho práce bolo odstrániť rezistor R52 a na plošku vedúcu k pinu VBat pripojiť batériu. Toto riešenie by ale nezaistovalo funkčnosť obvodu kvôli príliš malej ploške pre rezistor a žiadnemu miestu na prichytenie batérie.



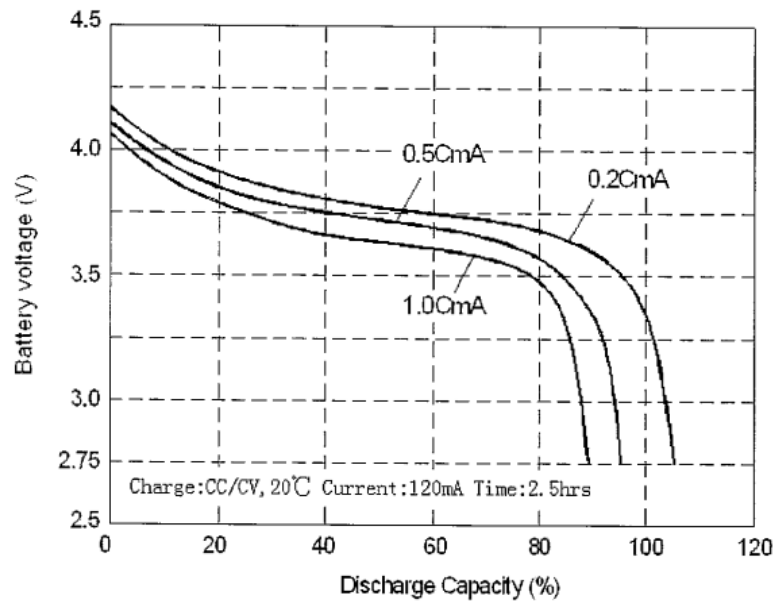
Obrázok 13 Schéma pripojenia Vbat pinu (1 s. 32)

Po prečítaní manuálu k mikrokotroléru som sa rozhodol, že obvod hodín reálneho času sfunkčnim tak, že akumulátor pripojím priamo na 3V. Aby sa zaistila čo najdlhšia výdrž akumulátoru, tak sa procesor po odpojení napájania softvérovo prepne do standby módu, ktorý má minimálnu spotrebu, pretože je zapnutý len obvod pre oscilátor, obvod hodín reálneho času a zálohovacia SRAM. Obvod obsluhujúci nabíjanie batérie a napájanie dosky bol inšpirovaný zapojením v knihe Art of Electronics. (8 s. 688)

Pri vyberaní akumulátora rozhodovala veľkosť, menovité napätie, menovitý vybíjací prúd a kapacita. Rozhodol som sa pre li-ion gombíkový akumulátor LIR2450 od fitmy Conrad. Jeho priemer je 24,5mm a výška 5mm. Tieto parametre zaručujú, že sa akumulátor zmestí medzi hlavnú dosku a Discovery kit aj s držiakom. Ďalším dôvodom výberu li-ion akumulátora bolo napätie. Ako je vidno na *Obrázok 14 Vybíjacia charakteristika li-ion akumulátoru LIR2450* maximálne napätie li-ion akumulátora je 4,2V a minimálne 2,75V.

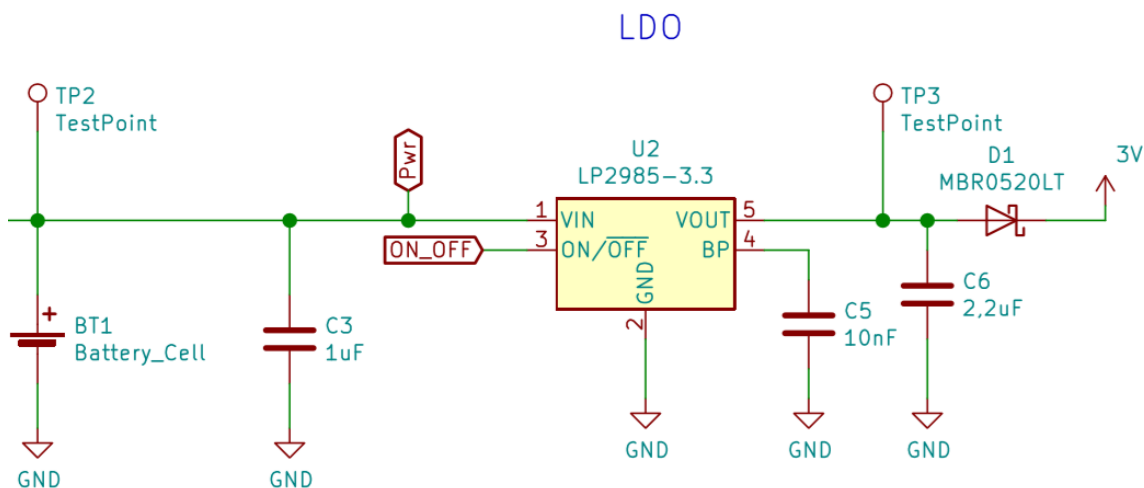
Tento rozsah napätí je ideálny ako vstupné napätie do lineárneho regulátora napätia, ktorým budem napájať mikrokontrolér. (9)

Discharging Characteristics at Various Currents



Obrázok 14 Vybíjacia charakteristika li-ion akumulátoru LIR2450 (9 s. 7)

Z batérie je obvod napájaný cez lineárny stabilizátor napätia a Schottkyho diódu. Regulátor LP2985-N od firmy Texas Instruments je zapojený podľa odporúčaného zapojenia z dátového háarku. Na vstupe je 1uF keramický kondenzátor a na výstupe 2,2uF. Obidve sú umiestnené vo vzdialenosti menšej ako 1 cm od k nim prislúchajúcich pinov. Ďalej je použitý 10nF keramický kondenzátor, ktorý je pripojený na pin BYPASS (BP). Tento kondenzátor znižuje šum na výstupe. Pin GND je pripojený na spoločnú zem. Pin ON/OFF slúži na zapínanie a vypínanie regulátora. Regulátor je zapnutý, ak je na pine napätie väčšie ako 1,6V. Keďže napájanie z akumulátora je potrebné len, keď nie je pripravok napájaný zo žiadneho iného zdroja je medzi pinom ON/OFF a zemou N-mosfet 2N7002, ktorého gate je pripojený na pin PF6 na procesore. Mosfet sa zopne, keď je procesor v normálnom móde a regulátor je tak vypnutý. V momente, keď sa procesor prepne do standby módu, bude mosfet rozopnutý a obvod napájaný cez regulátor z batérie. Jedna z výhod používania li-ion batérie a regulátora napätia je to, že regulátor nepracuje, keď je na vstupe menšie napätie ako na výstupe. Táto vlastnosť zaručí, že napätie na akumulátore neklesne pod 3,3V. Toto napätie je väčšie ako minimálne vybíjacie napätie akumulátora a tak nedôjde k podbitiu a následnému zničeniu vplyvom nízkeho napätia. (10)



Obrázok 15 Schéma zapojenia lineárneho regulátora napätia

Parametre: (10)

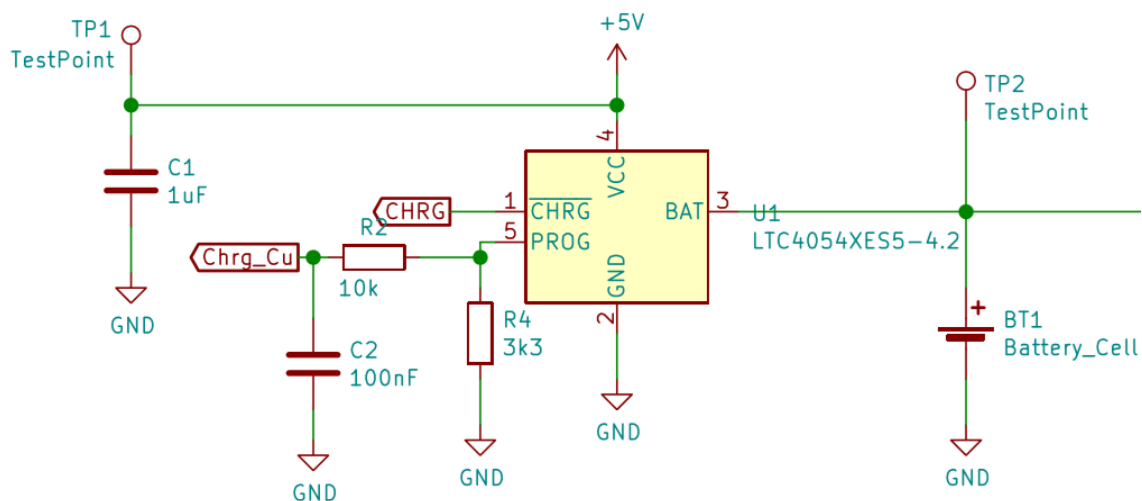
- pracovné napätie: 3,1V - 16V
- výstupné napätie: 3,3V
- výstupný prúd: 150mA
- maximálny úbytok napätia: 350mV

Za regulátorom je zapojená Schottkyho dióda MBR0520LT1G. Tá bola vybraná kvôli minimálnemu úbytku napätia (maximálne 0,385V). Takže z napätia 3,3V z regulátoru bude na výstupe približne 3V, čo je dostačujúce na napájanie pre mikrokontrolér. (11)

Akumulátor je nabíjaný integrovaným obvodom LTC4054ESS od firmy Linear Technology. Jedná sa o nabíjačku jednočlánkových li-ion akumulátorov, ktorá je schopná nabíjať v režime konštantný prúd aj konštantné napätie. Obvod je zapojený podľa pokynov z dátového hárku. Napájaný je z 5V, ktoré sú privedené cez Discovery kit z USB. Na vstupe je 1µF keramický kondenzátor. Batéria je priamo pripojená na pin BAT a pin GND je pripojený na zem. Keďže ide o nabíjačku li-ion akumulátorov, tak maximálne výstupné napätie je 4,2V. Maximálny nabíjací prúd je 150mA. Ten sa ale dá nastavovať pomocou rezistora, ktorý pripojíme medzi pin PROG a zem. Hodnota rezistora sa počíta z hodnoty zvoleného prúdu. Podľa vzorca:

$$R_{prog} = \frac{150V}{I_{chg}}$$

Maximálna hodnota nabíjacieho prúdu pre tento akumulátor je 0,5C, čo predstavuje 60mA. Aby sa akumulátor nepreťažoval zvolil som menšiu hodnotu 45mA. Je ideálna práve preto, že je menšia ako maximálna dovolená a zároveň nie je taká malá, aby sa akumulátor dlho nabíjal. Pri takomto prúde by mal byť nabitý za približne 3 hodiny. Ak dosadíme hodnotu prúdu do rovnice, tak odpor by mal byť 3333Ω. Zo štandardných hodnôt odporov je takto dostupná hodnota 3.3kΩ. (12)



Obrázok 16 Schéma zapojenia nabíjacieho obvodu

Pin CHRG slúži na zisťovanie nabíjacieho stavu. Na zistenie tohto stavu som použil zapojenie z dátového hárku. Medzi pinom CHRG a pinom PE6 mikrokontroléru je odpor $2\text{k}\Omega$, medzi 3V napájaním a pinom CHRG je odpor $800\text{k}\Omega$ a pin PE4 mikrokontroléru merá v akom stave je nabíjanie.

Parametre: (12)

- vstupné napätie: $4,25\text{V} - 6,5\text{V}$
- maximálne výstupné napätie: $4,2\text{V}$
- maximálny výstupný prúd: 150mA

4. Softvérové riešenie

V prípade softvérovej podpory mnou navrhnutých obvodov som sa rozhodol ísť cestou použitia podporných programov pre tvorbu kódu pre mikrokontroléry. Firma STMicroelectronics má v tomto smere široké spektrum programov, ktoré majú vývojárovi uľahčiť prácu s ich procesormi.

Vývoj programov pre mikrokontroléry začína pri inicializácii vstupov a výstupov. Tento proces väčšinou zahŕňa dôkladné preštudovanie dátového hárku a následné nastavenie registrov. Ten istý proces sa opakuje pri nastavovaní oscilátoru, časovačov a ďalších podporných obvodov. Na uľahčenie tejto práce sa používa program STM32CubeMX. V jeho knižnici je zahrnutá väčšina procesorov. Navyše program priamo podporuje vývojové kity Discovery a Nucleo. STM32CubeMX tak dokáže po vybratí správneho kitu nastaviť porty podľa toho, ako sú zapojené na doske. Nastavovanie pinov je jednoduché a všetko prebieha v programe s grafickým rozhraním. Po nastavení vybraných parametrov a stlačení tlačidla „Generate code“ STM32CubeMX vygeneruje kód v jazyku C. Zároveň s tým inicializuje projekt pre vopred vybrané integrované vývojové prostredie.

Integrované vývojové prostredia sú nástroje na editáciu kódu, hľadanie chýb a následné overenie funkčnosti programu. V mojej práci som sa rozhodol použiť program Keil μ Vision v5 od firmy Arm. Ten okrem kompilátoru a debuggeru tiež obsahuje programátor, takže po otvorení projektu je možné obsluhovať celý programovací proces z jedného programu.

4.1 Nastavenie vstupov a výstupov

Ako som už v predchádzajúcej časti spomínal, tak na inicializáciu programu som použil program STM32CubeMX. Keďže je STM32F429IDISCOVERY podporované programom, tak po založení projektu už boli všetky zapojené periférie inicializované. Ďalej bol nastavený vstupný oscilátor HSE na 8MHz, čo odpovedá oscilátoru na doske. Na mne už ostalo nakonfigurovať zvyšné porty na sfunkčnenie navrhnutého prípravku. To som urobil podľa *Tabuľka 1 Nastavenie portov*. Keďže Discovery kit je predávaný bez osadeného 32,768kHz oscilátoru tak v aplikácii nebol povolený. Po definovaní zdrojového pinu pre hodinový oscilátor sa môže v časovačoch povoliť RTC obvod. Nakoniec sa musí vybrať IDE, pre ktorý má STM32CubeMX vytvoriť projekt. Ten je vytvorený vo zvolenom adresári spolu so zdrojovými kódmi a nainportovanými knižnicami.

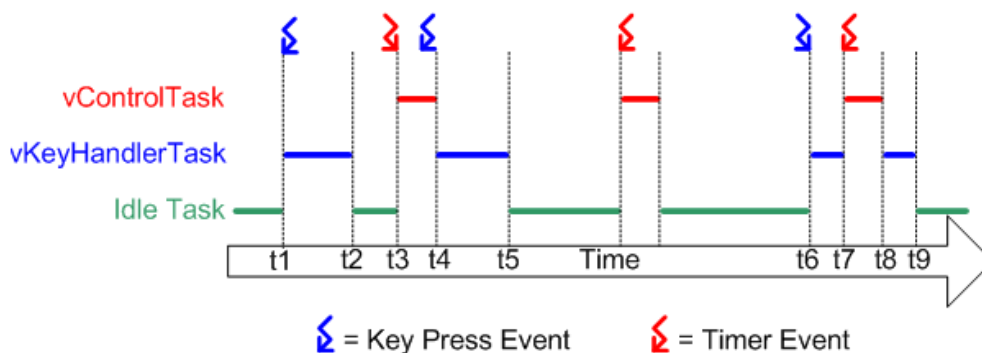
Tabuľka 1 Nastavenie portov

Pin	Názov	Funkcia	Popis
PG3	Sw_D	GPIO Input	Dolné tlačidlo
PC13	Sw_R	GPIO Input	Pravé tlačidlo
PE5	Sw_U	GPIO Input	Horné tlačidlo
PE3	Sw_L	GPIO Input	Ľavé tlačidlo
PG9	Sw_A	GPIO Input	Kanál A inkrementálneho ovládača
PC12	Sw_B	GPIO Input	Kanál B inkrementálneho ovládača
PC8	Sw_C	GPIO Input	Stredné tlačidlo
PE4	Ch_St_In	GPIO Input	Vstup pre zistenie stavu nabíjania
PE6	Ch_St_Out	GPIO Output	Výstup pre zistenie stavu nabíjania
PB7	LED1	GPIO Output	Zelená LED dióda
PC11	LED2	GPIO Output	Oranžová LED dióda
PG2	LED3	GPIO Output	Modrá LED dióda
PF6	Pwr_En	GPIO Output	Vypínanie napäťového regulátora

4.2 FreeRTOS

Operačný systém reálneho času (RTOS) je jedna z moderných technológií používaných pri obsluhu mikrokontrolérov. Procesory od firmy STMicroelectronics majú tento operačný systém vo forme FreeRTOS.

Keďže má táto bakalárska práca poskytnúť platformu pre ďalšie aplikáciu tohto Discovery kitu, medzi ktoré patrí aj použitie LCD displeja, tak obsluha programu pomocou nekonečnej slučky while nie je najlepšia voľba a mohla by tak obmedzovať ďalší rozvoj. Implementácia FreeRTOS teda dovolí väčšiu flexibilitu pri navrhovaní programov.



Obrázok 17 Chod programu vo FreeRTOS (13)

Ako je možno vidieť na obrázku FreeRTOS *Obrázok 17 Chod programu vo FreeRTOS* spracuje na základe priorit. Takže funkcia s vyššou prioritou sa obslúži skôr ako funkcia s nižšou.

Hlavnou štruktúrou RTOS sú úlohy (tasks). Tie sú definované pomocou procedúr void. Úloha sa vykoná len vtedy, keď je vyvolané prerušenie s odkazom na ňu. Takže narozdiel od nekonečnej slučky nemusíme vždy testovať či je výraz platný. Úloha sa definuje takto:

- najprv deklaruujeme handle:

```
osThreadId defaultTaskHandle;
```

- potom zadefinujeme procedúru:

```
void StartDefaultTask(void const * argument);
```

- vo funkcii main zadefinujeme a vytvoríme thread:

```
osThreadDef(defaultTask, StartDefaultTask, osPriorityNormal, 0, 128);
```

```
defaultTaskHandle = osThreadCreate(osThread(defaultTask), NULL);
```

- do predtým zadefinovanej procedúry píšeme kód, ktorý sa má vykonať:

```
void StartDefaultTask(void const * argument)
```

```
{  
    /* nekonečna slučka */  
    for(;;)  
    {  
        osDelay(1);  
    }  
}
```

Ako aj v iných prípadoch ani tento prístup nie je bezproblémový. Chyba môže nastať vtedy, ak sa dve úlohy s rovnakou prioritou udejú naraz. Na ošetrenie tohto problému bola vymyslená funkcia semafor (semaphor). Tá v takom prípade prevedie najprv prvú funkciu a potom druhú.

- deklarácia semaforu:

```
osMutexId xMutexHandle;
```

- príkazy xSemaphoreTake a xSemaphoreGive zaobalia príkazy, ktoré chceme v semafore

```
xSemaphoreTake(xMutexHandle, portMAX_DELAY);
```

```
/*príkaz, ktorý chceme vykonať*/
```

```
xSemaphoreGive(xMutexHandle);
```

4.3 Implementácia inkrementálneho ovládača

Na overenie funkčnosti inkrementálneho ovládača som použil jednoduchú funkciu s podmienkou. Tú som implementoval do úlohy rotenTask vo FreeRTOS. Na čítanie a zapisovanie na porty som použil HAL knižnicu HAL_GPIO a z nej príkazy *HAL_GPIO_ReadPin* a *HAL_GPIO_WritePin*

```
if((HAL_GPIO_ReadPin(GPIOG, Sw_A_Pin))== GPIO_PIN_SET)
{
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOG,GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_SET);
}
```

Pre vypnutie LED stačí zmeniť parametre GPIO_PIN_SET na GPIO_PIN_RESET.

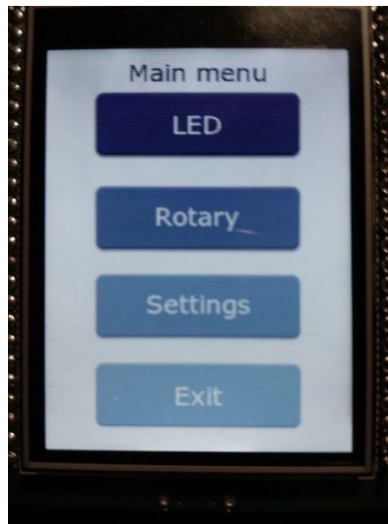
4.4 Integrácia RTM

Zakomponovanie RTM knižnice a monitoru sa na prvý pohľad nezdalo zložité, keďže väčšina problémov už bola vyriešená v diplomovej práci pána Šenkýře (14). No pri návrhu plošného spoja som zistil, že ním napísanú knižnicu nebude možno implementovať do mnou navrhnutého prípravku. Kvôli obmedzenému množstvu pinov som musel použiť pin PC11, na ktorý je ale v knižnici pre RTM privedený UART4 RX. Zároveň jeho knižnica používa pin PC10 pre signál UART4 TX, ktorý sa ale na Discovery kite používa na obsluhu dotykového displeja.

Myslel som si, že problém bude vyriešený, keď prepíšem knižnicu aby používala na komunikáciu UART1. Je to jediný UART, ktorý zostane voľný, ak sa rozhodneme používať všetky periférie Discovery kitu. Ten komunikuje s počítačom cez miniUSB kábel, ktorý zároveň slúži aj na naprogramovanie prípravku. No v tomto prípade som zas bol obmedzený samotným programom RTM monitor, ktorý dokáže komunikovať len cez prevodník od firmy FTDI (14 s. 2). Výsledok teda je, že RTM monitor nebude fungovať s navrhnutým prípravkom.

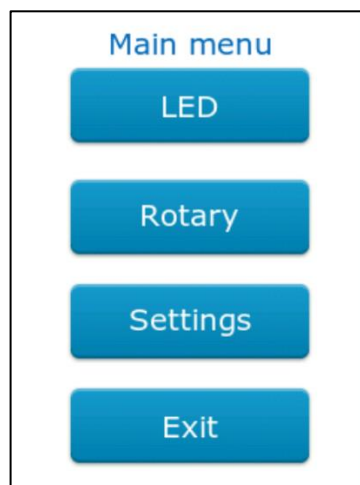
5. Grafické rozhranie

Ako v prípade návrhu softvéru pre prípravok, tak aj pri návrhu grafického rozhrania som si vybral cestu použitia podporných programov. Vybral som si program TouchGFX, ktorý ponúka príjemné prostredie a WYSIWYG (What You See Is What You Get) prístup. Zároveň má priamu integráciu s programom STM32CubeMX. Grafické objekty zobrazované na LCD displeji sa dajú navrhovať buď v grafickom editore alebo úpravou kódu. Grafický editor je dostačujúci prípade, že medzi sebou interagujú len objekty zobrazované na displeji. Ak chceme používať externé vstupy a výstupy ako je LED dióda alebo tlačidlo, môžeme meno funkcie zdefinovať v grafickom editore, no kód pre vykonanie tejto funkcie už implementujeme v programovacom IDE.

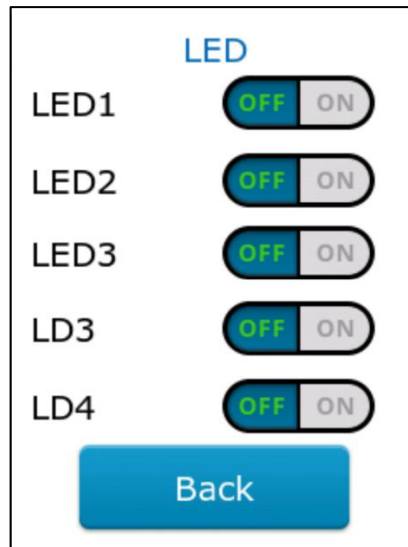


Obrázok 18 Hlavná obrazovka na Discovery kite

Koncept grafického rozhrania je založený na čo najjednoduchšom ovládaní. Keďže má display obmedzenú veľkosť, tak sa musel redukovať počet tlačidiel na jednej obrazovke.

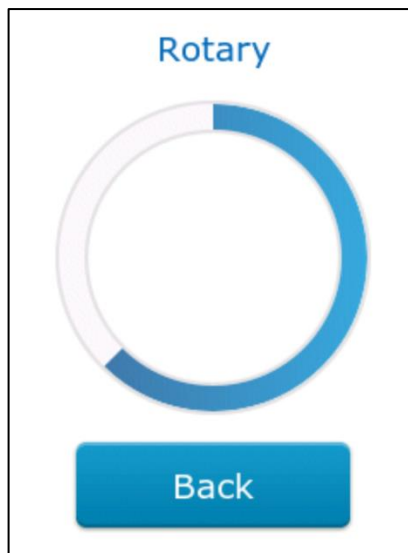


Obrázok 19 Hlavná obrazovka GUI



Obrázok 20 Obrazovka pre LED diódy

Testovacie grafické rozhranie som rozdelil do 3 hlavných obrazovok. Po načítaní úvodnej obrazovky s logom školy sa zobrazí hlavné menu. Z tejto obrazovky sa potom pomocou 3 tlačidiel môžeme dostať do ostatných. Jednou z nich je obrazovka pre LED diódy, kde pomocou prepínačov môžeme zapínať externé diódy. Ďalšou je obrazovka pre inkrementálny ovládač, kde ovládačom meníme zobrazovanie kruhu. Ďalšie tlačidlá vedú na obrazovku nastavení a ukončenie aplikácie.



Obrázok 21 Obrazovka pre rotačný enkodér

6. Záver

Hardvérové riešenie

Jedným z veľkých otáznikov ohľadom funkčnosti prípravku bola kvalita vyrobených plošných spojov. Tie som najmä kvôli nízkej cene a rýchlosti výroby objednával od čínskej firmy AllPCB. Výsledný produkt ale prevýšil moje očakávania. Okrem prepálenej plôšky, čo bolo spôsobené najmä mojou nešikovnosťou, sú plošné spoje po mechanickej aj po elektrickej stránke v poriadku.

Po osadení som dosky otestoval. Nabíjačku batérie a lineárny napäťový regulátor som testoval pomocou multimetru. Namerané hodnoty napätí odpovedajú hodnotám udávaných v dátovom hárku. Inkrementálny ovládač som testoval softvérovo pomocou blikania LED diódou. Všetky tlačidlá a rotačný enkodér boli pripojené správne.

Softvérové riešenie

Aj keď sa na prvý pohľad javilo použitie podporných programov pri každom kroku vývoja aplikácie ako najlepší prístup, konečný výsledok je obmedzený práve použitím týchto aplikácií. Chybná integrácia medzi aplikáciami viedla až k tomu, že vygenerovaný kód nebolo možné skompilovať. Problém nastal hlavne medzi programami STM32CubeMX a TouchGFX, kde vygenerovaný kód, ktorý mal prepájať nastavenie portov a grafické rozhranie nebolo možné skompilovať. Po dlhom snažení a použití rôznych integrovaných vývojových prostredí (Atollic TrueStudio, Keil μ Vision, SW4STM32) som sa rozhodol rozdeliť implementáciu na dva projekty.

Narozdiel od podporných programov sa zdá použitie FreeRTOS ako najlepšia voľba, ak je potrebné využiť celý potenciál Discovery kitu.

Ďalší vývoj

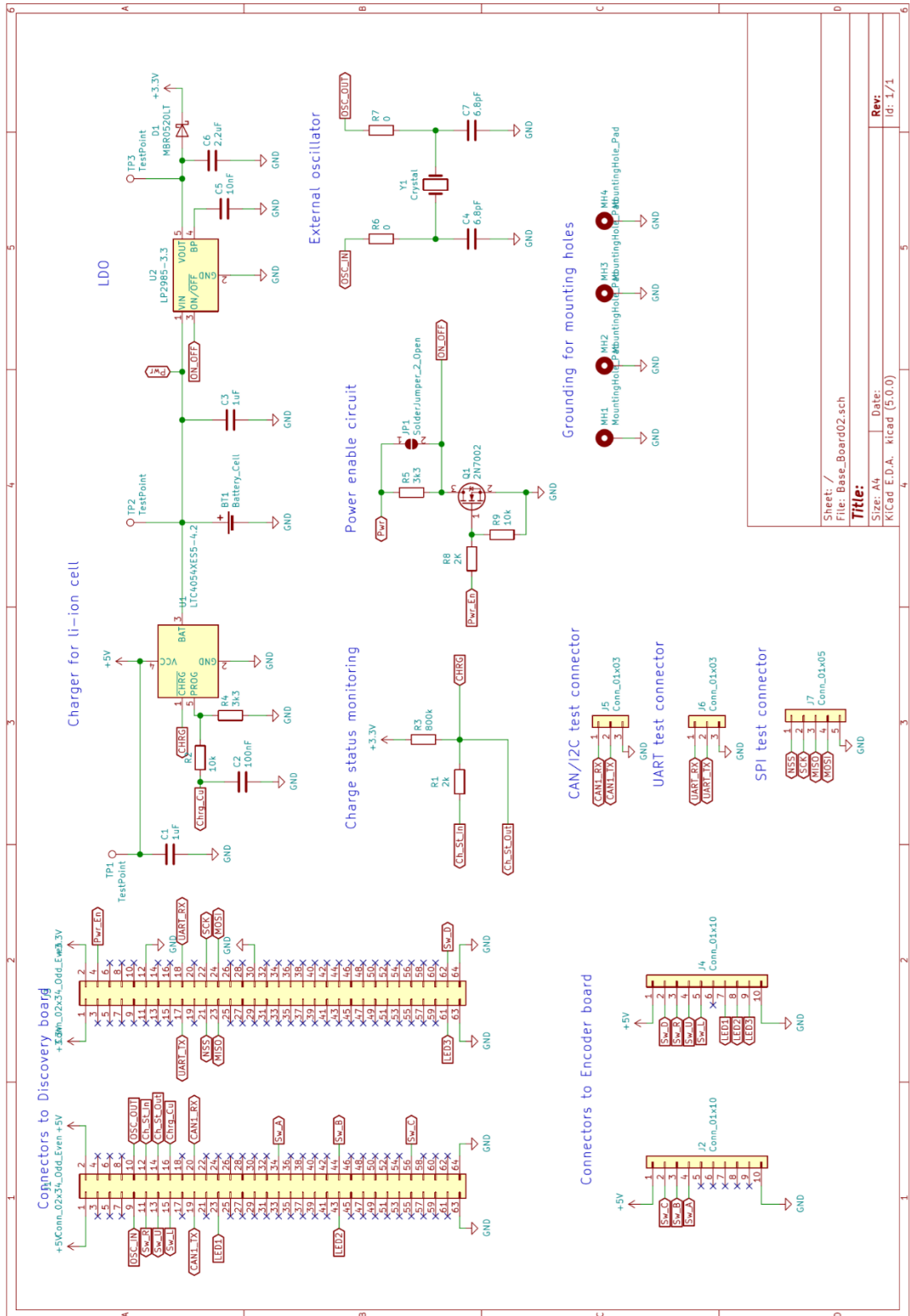
Discovery kit poskytuje ideálnu platformu pre školské prostredie. V spojení s celým ekosystémom od STMicroelectronics môže pomôcť k modernizácii výukového procesu. Navrhnutý prípravok by mal poskytnúť dobrý základ na návrh obvodov pracujúcich s mikrokontrolérmi.

Zoznam použitých zdrojov

1. **STMicroelectronics**. Discovery kit with STM32F429ZI MCU. *st.com*. [Online] 2017. https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/6b/25/05/23/a9/45/4d/6a/DM00093903.pdf/files/DM00093903.pdf/jcr:content/translations/en.DM00093903.pdf.
2. —. STM32F427xx STM32F429xx. *st.com*. [Online] 2018. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f429zi.pdf>.
3. **Saef Technology**. Specification of LCD module no.: SF-TC240T-9370A-T. [Online] 2012. http://galaxy.agh.edu.pl/~amrozek/TM/SF_TC240T_9370A_T.pdf.
4. **ISSI**. IS42S16400J IS42S16400J. *issi.com*. [Online] 2014. <http://www.issi.com/WW/pdf/42-45S16400J.pdf>.
5. **STMicroelectronics**. L3GD20: 3-axis digital output gyroscope. *st.com*. [Online] 2014. https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/2c/d9/a7/f8/43/48/48/64/DM00119036.pdf/files/DM00119036.pdf/jcr:content/translations/en.DM00119036.pdf.
6. **Mikulics, Štefan**. *Řízení modelu*. Praha : s.n., 2018.
7. **Zippy**. Ano Series. *zippy.com*. [Online] http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/00000-24999/001094449-da-01-en-ENCODER_FLACH_ANO_I1W_M1W_02W_S_Z.pdf.
8. **Horowitz, P. a Hill, W**. *Art of Electronics*. s.l. : Cambridge University Press, 2015.
9. **Conrad**. LIR2450. *conrad.cz*. [Online] http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/250000-274999/252237-da-01-en-KNOPFZELLENAKKU_LITHIUM_LIR2450.pdf.
10. **Texas Instruments**. LP2985-N Micropower 150-mA Low-Noise Ultra-Low-Dropout Regulator in a SOT-23. *ti.com*. [Online] 2016. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2985-n.pdf>.
11. **ON Semiconductor**. Surface Mount. *onsemi.com*. [Online] 2012. <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MBR0520LT1-D.PDF>.
12. **Linear Technology**. 150mA Standalone Linear Li-Ion Battery Charger in ThinSOT. *analog.com*. [Online] 2003. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/4054142fa.pdf>.
13. **Barry, Richard**. Mastering the FreeRTOS™ Real Time Kernel. *freertos.org*. [Online] 2016. https://www.freertos.org/wp-content/uploads/2018/07/161204_Mastering_the_FreeRTOS_Real_Time_Kernel-A_Hands-On_Tutorial_Guide.pdf.
14. **Šenkýř, Arnošt**. *Aplikace RTM pro přípravu Discovery*. Praha : s.n., 2019.

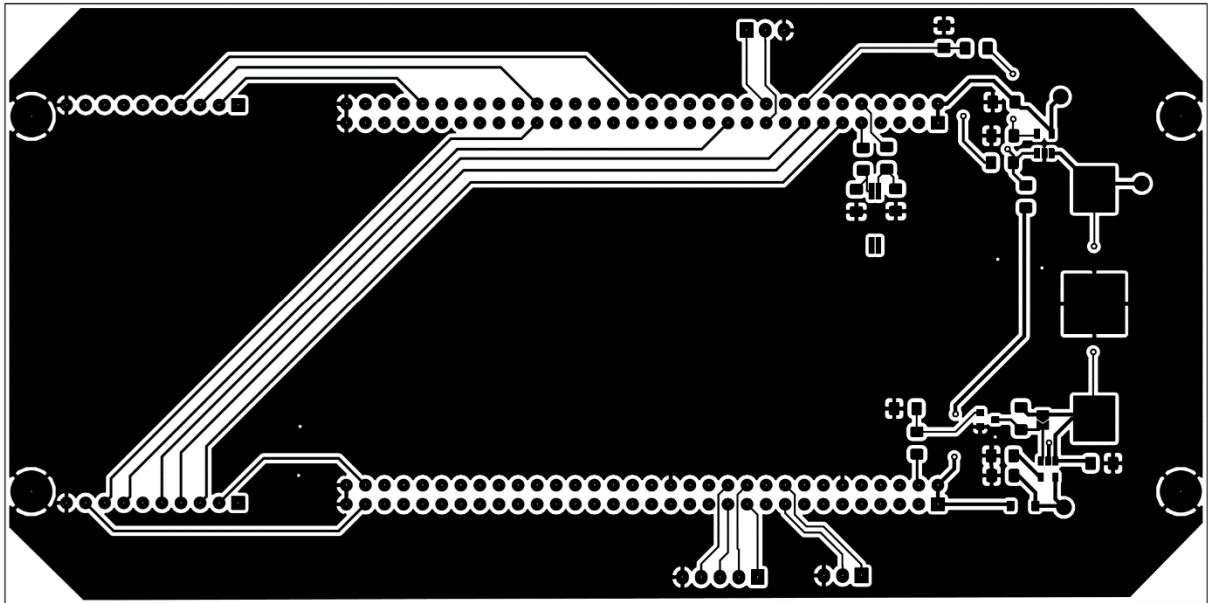
Príloha A: Hlavná doska

Príloha 1 Hlavná doska-schéma

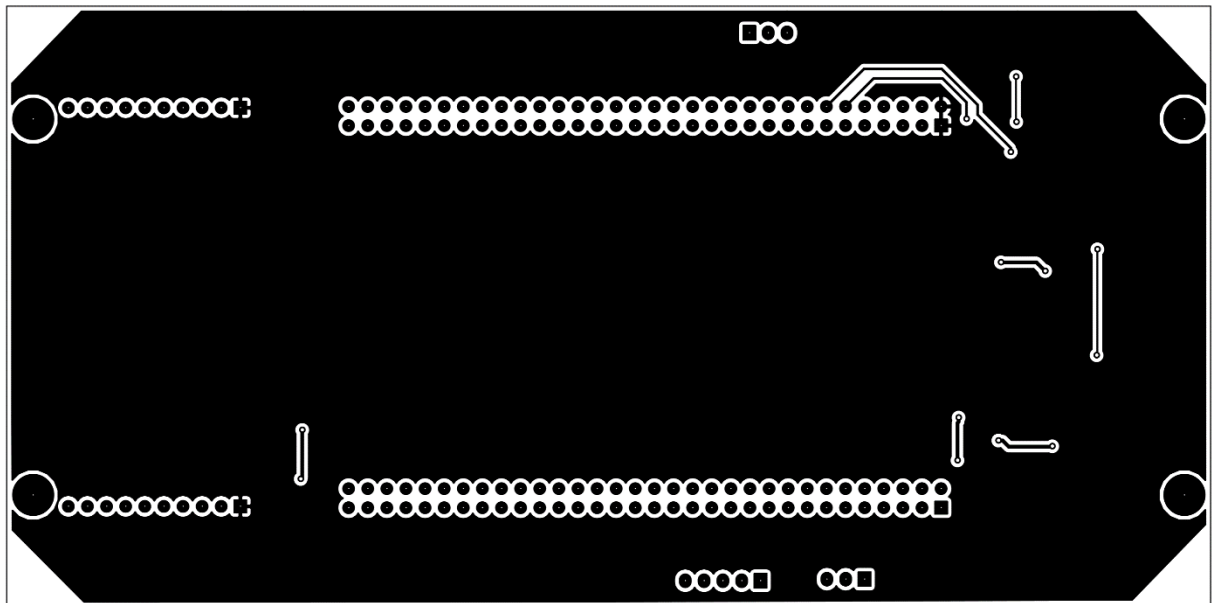


Sheet: /
 File: Base_Board02.sch
Title:
 Size: A4 Date:
 Kicad E.D.A. Kicad (5.0.0) Rev:
 Id: 1/1

Príloha 2 Hlavná doska-med' (predná strana)

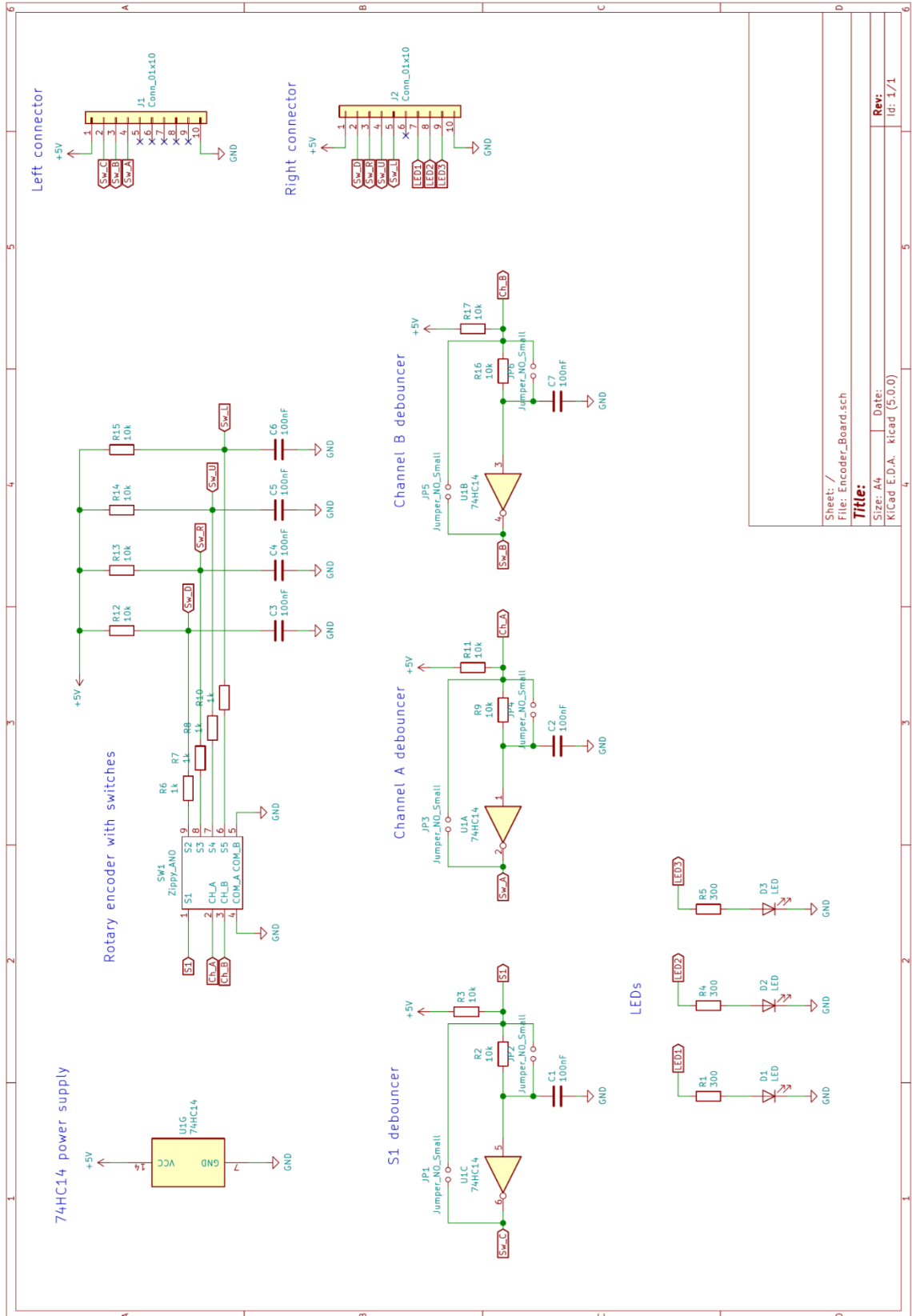


Príloha 3 Hlavná doska-med' (zadná strana)



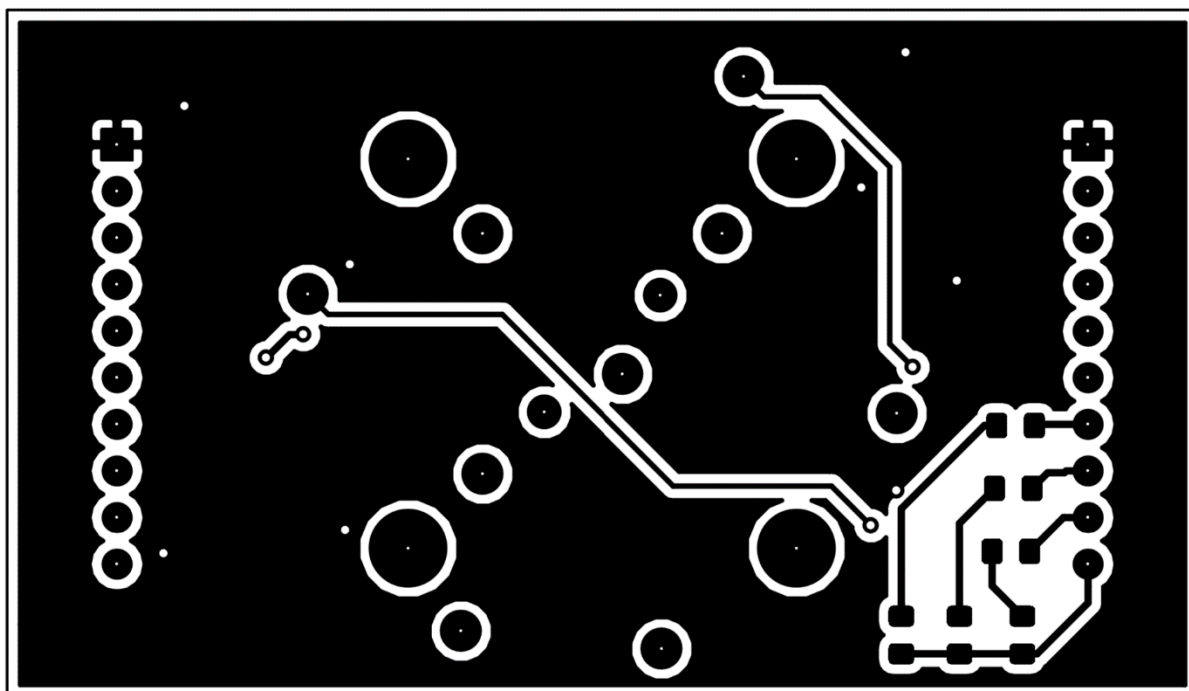
Príloha B: Doska s ovládačom

Príloha 4 Doska s ovládačom-schéma

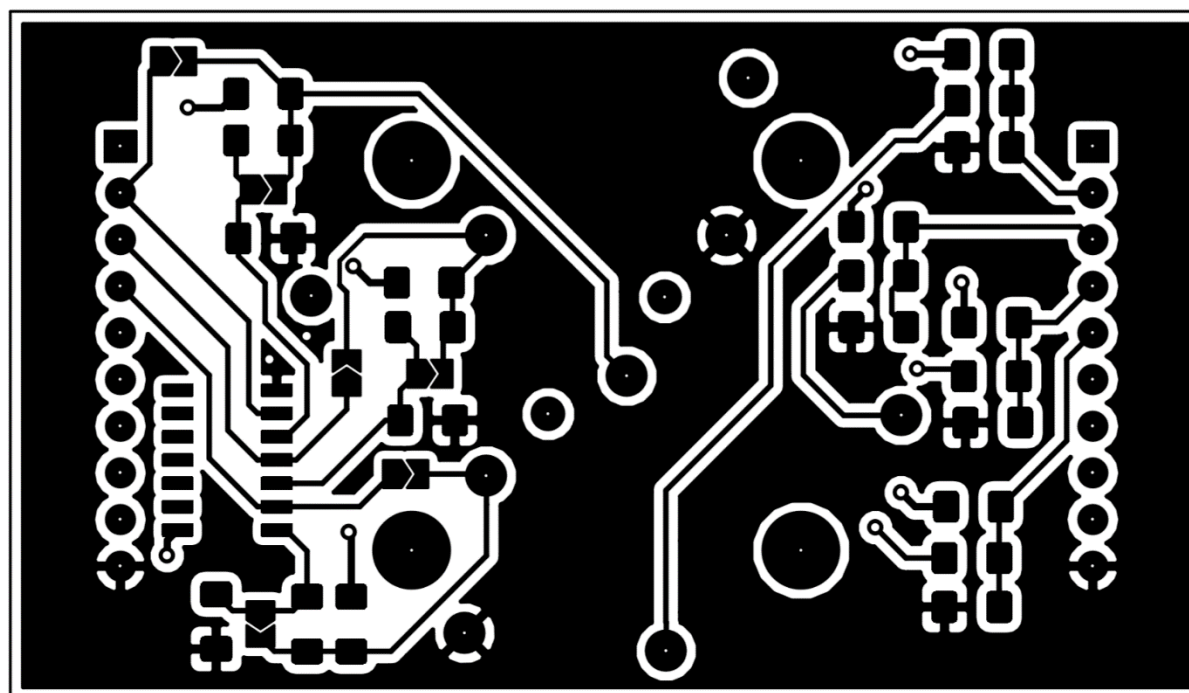


Sheet: /
File: Encoder_Board.sch
Title:
Size: A4
KiCad E.D.A. kicad (5.0.0)
Date:
Rev: 1/1
Id: 1/1

Príloha 5 Doska s ovládačom-med' (predná strana)



Príloha 6 Doska s ovládačom-med' (zadná strana)



Príloha C: Obsah priloženého CD

Krabička

- Táto zložka obsahuje 3D model krabičky.

Plošné spoje

- Táto zložka obsahuje projekty pre plošné spoje v programe KiCad a výrobné súbory.

Program

- Táto zložka obsahuje podporný program pre pripravok.

Text

- Táto zložka obsahuje text práce vo formáte pdf.