

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

Brno, 2023

Bc. Renata Zemanová



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

SEMAFOR - TECHNOLOGICKÝ EKVIVALENT FÁBORKU

TRAFFIC LIGHT – TECHNOLOGICAL EQUIVALENT OF A STREAMER

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Renata Zemanová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

BRNO 2023

Semestrální práce

magisterský navazující studijní program **Mikroelektronika**

Ústav mikroelektroniky

Studentka: Bc. Renata Zemanová

ID: 211251

Ročník: 2

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Semafor - technologický ekvivalent fáborku

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

V rámci semestrální práce navrhnete univerzální zařízení – Semafor TEF, schopné plnit různorodé funkce definované v samostatných programech a pozitivně tak ovlivňovat jejich klíčové aspekty. Těmi jsou zejména atraktivita aktivity (a její vliv na motivaci účastníků hry), organizační možnosti (tzn. zejména rozšíření o jinak nemyslitelná pravidla) a také budování vztahu účastníků programů k technologiím a technice obecně.

Termín zadání: 19.9.2022

Termín odevzdání: 16.12.2022

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

doc. Ing. Lukáš Fucík, Ph.D.

předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Abstrakt práce v originálním jazyce

KLÍČOVÁ SLOVA

Klíčová slova v originálním jazyce

ABSTRACT

Překlad abstraktu (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

KEYWORDS

Překlad klíčových slov (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

ZEMANOVÁ, Renata. *Semafor - technologický ekvivalent fáborku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2023, 47 s. Semestrální práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Bc. Renata Zemanová
VUT ID autora: 211251
Typ práce: Semestrální práce
Akademický rok: 2022/23
Téma závěrečné práce: Semafor - technologický ekvivalent fá-
borku

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno
.....
podpis autorky*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. XXX YYY, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	10
1 Rešerše elektronických komponent	11
1.1 Bezdrátová komunikace	11
1.1.1 WiFi	12
1.1.2 Bluetooth	12
1.1.3 NFC	13
1.1.4 LoRa	13
1.1.5 ZigBee	14
1.2 Světelná signalizace	14
1.3 Senzor doteku	15
1.3.1 Princip kapacitních dotykových tlačítek	16
1.3.2 Návrh kapacitního dotykového tlačítka	16
1.4 Převodník pro kapacitní tlačítka	17
1.5 Napájení	18
1.5.1 Baterie	18
1.6 Mikrokontrolér	20
2 Výběr a návrh elektroniky	22
2.1 Bezdrátová technologie	22
2.2 Mikrokontrolér	22
2.3 LED	23
2.4 Vibrační motor	24
2.5 Převodník pro kapacitní tlačítka	24
2.6 Napájení	25
2.6.1 Nabíjecí obvod	25
2.6.2 Zapojení nabíjecího obvodu	26
2.7 Světelná signalizace	27
2.8 Zvuková signalizace	29
2.9 Konektor	29
2.10 Výsledné zapojení	30
Závěr	32
Literatura	33
Seznam symbolů a zkratk	40

Seznam příloh	41
A Některé příkazy balíčku <code>thesis</code>	42
A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek	42
A.2 Příkazy pro sazbu symbolů	42
B Druhá příloha	43
C Příklad sazby zdrojových kódů	44
C.1 Balíček <code>listings</code>	44
D Obsah elektronické přílohy	47

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem zařízení Semafor. Semafor slouží pro táborové hry a edukační účely. Plní funkci například zástupu organizátora na stanovišti. Semafor je tedy navrhován pro outdoorové aplikace. Je také kladen důraz pro jednoduchost, aby s ním mohl manipulovat pouze proškolený laik, který má k tomuto zařízení návod.

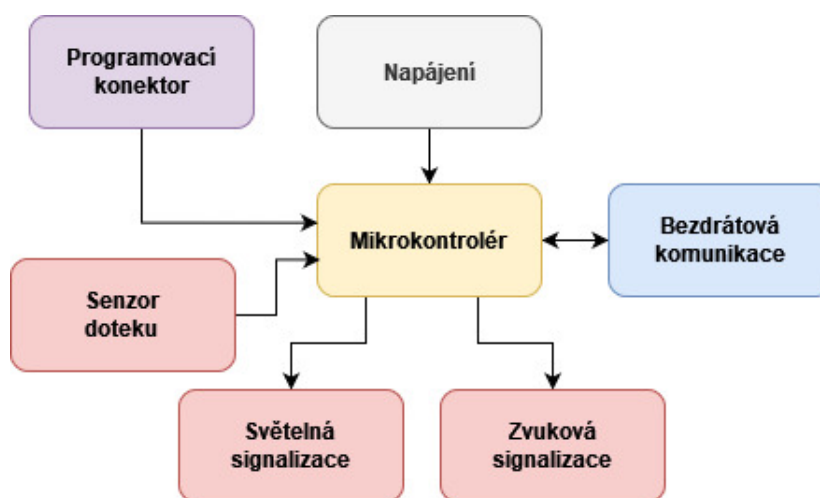
Základními požadavky na funkci Semaforu je, aby mohl svítit několika barvami, aby měl zvukovou signalizaci a aby bylo možné jej dotykem ovládat. Velkou výhodou pro další možnosti her by bylo, aby Semaforey mohly komunikovat mezi sebou.

1 Rešerše elektronických komponent

Základní návrh se skládá především z výběru bezdrátové komunikace, která je klíčová. Díky ní budou moci Semaforey komunikovat mezi sebou, takže si například budou moci předávat informace o barvě, kterou svítí nebo stisku tlačítek apod.

Další nedílnou součástí je mikrokontrolér, který řídí veškerou činnost každého Semaforu. U Semaforu je také nutné řešit způsob napájení, takže i to je součástí návrhu.

Celkový návrh obsahuje také výběr senzorů doteku, zvukových a vizuálních signalizací a případných potřebných převodníků.



Obr. 1.1: Základní blokové schéma Semaforu.

1.1 Bezdrátová komunikace

Použití na táborech a outdoorových akcích vyřadilo z výběru drátovou komunikaci. K DPS by muselo být ještě velké množství kabelů o délce několika stovek metrů minimálně. Bezdrátová komunikace je z tohoto hlediska velmi praktická. Je to také moderní řešení náležící dnešní době.

Jedním ze základních požadavků bylo, že jednotlivé DPS mezi sebou musí být schopny komunikovat. Vzhledem k použití na táborech musel být vybrán komunikační protokol a následně k němu přizpůsoben hardware.

Práce tedy započala tím, že byla udělána rešerše existujících bezdrátových komunikačních protokolů a následně byly tyto protokoly mezi sebou porovnány. Vzhledem k použití na outdoorových akcích byl kladem důraz na komunikační vzdálenost a náročnost na výkon, jelikož zařízení je napájeno z baterií.

Dalším požadavkem bylo bezdrátové nastavování, tedy připojení k Semaforu např. přes telefon a odeslání konfigurace. Nastavení hry, která se hraje a např. čas, jak dlouho se bude hrát, nebo v kolika týmech, je tedy zapotřebí také dělat bezdrátově.

1.1.1 WiFi

Komunikace pomocí WiFi sítě je jednou z nejznámějších a nejpoužívanějších bezdrátových komunikací užívaných širokou veřejností. WiFi je dnes na každém pracovišti, na veřejných místech i v každé domácnosti. Využívána je především pro připojení k internetu. Přes WiFi lze přenášet velké objemy dat vysokou rychlostí. Pracuje v pásmech v okolí frekvencí 2,4 GHz a 5,0 GHz s dosahem desítek až nižších stovek metrů [19].

Výhody bezdrátové technologie WiFi jsou [19]:

- pracuje v bezlicenčním pásmu,
- levná,
- velmi rozšířená.

Nevýhody jsou [19]:

- omezený výkon (není možné pokrýt rozáhlejší oblasti),
- vyšší spotřeba energie.

1.1.2 Bluetooth

Bluetooth je také velmi rozšířenou technologií bezdrátové komunikace. Používá se na přenos dat na krátké vzdálenosti. V dnešní době rozšířené WiFi komunikace je její použití omezené. Běžně se využívala pro přenos fotografií z jednoho zařízení do druhého apod. V dnešní době se spíše využívá pro připojení bezdrátových periférií jako jsou bezdrátová sluchátka, myši a klávesnice. Tato technologie je zaměřena především na nízkou spotřebu, i proto je komunikační vzdálenost maximálně 100 metrů [19]. V praxi jde ale o nižší desítky metrů. Bluetooth je také technologií pro propojení pouze 2 zařízení, kde jedno je tzv. master a druhý tzv. slave [19]. Jedno zařízení je tedy nadřazeno druhému. V případě telefonu a sluchátek je telefon nadřazený sluchátkům.

Výhody bezdrátové technologie Bluetooth jsou [19]:

- nízká spotřeba.

Nevýhody jsou [19]:

- krátký dosah,
- možnost propojení pouze 2 zařízení.

1.1.3 NFC

NFC je jedna z novějších technologií, která je známá především při použití platby kartou. Jde tedy o přenos malých objemů dat na velmi krátkou vzdálenost, tj. do desítek centimetrů [19]. NFC je technologií, kde stačí, aby pouze jedno zařízení mělo zdroj elektrické energie [19]. Druhé zařízení se chová jako anténa, ze které je možné vyčíst informace [19]. Například při platbě kartou v sobě karta nemá žádný zdroj energie, ale při přiložení k terminálu je pomocí elektromagnetické indukce vyčteno identifikační číslo karty. Díky tomu je možné zaplatit.

Výhody bezdrátové technologie NFC jsou [19]:

- rychlost,
- možnost interakce se zařízeními bez vlastního zdroje elektrické energie.

Nevýhody jsou [19]:

- velmi krátká komunikační vzdálenost,
- možnost komunikace pouze mezi dvěma zařízeními,
- nízká rychlost přenosu,
- malý objem přenášených dat.

1.1.4 LoRa

LoRa je technologie, která moduluje data do elektromagnetických vln na fyzické vrstvě (rádio) umožňující komunikaci na velké vzdálenosti [27].

LoRaWAN je komunikační protokol a architektura celé sítě [27]. Je vhodná pro komunikaci mezi pohybujícími se předměty a její komunikace je zabezpečená [27]. Tato síť má topologii hvězdy a pracuje v bezlicenčním pásmu [27]. V České republice je povolená frekvence v pásmu okolo 868 MHz zdarma.

LoRa je technologie vyvinutá primárně pro IoT, takže je bezpečná a spolehlivá [26]. Zajišťuje také připojení na velkou vzdálenost (20 km na volném prostranství a 2 km v zastavěné oblasti) [26]. LoRa je také vyvinutá pro bateriová zařízení, takže je energeticky úsporná a na baterie vydrží zařízení až 10 let [26].

Výhody bezdrátové technologie LoRa jsou [26]:

- bezlicenční pásmo,
- spolehlivost,
- komunikace na velké vzdálenosti,
- obousměrná komunikace,
- dobrý poměr cena/výkon,
- energeticky úsporná.

1.1.5 ZigBee

ZigBee technologie je používána pro vytvoření malých sítí, kde může signál snadno přeskakovat z jednoho zařízení na druhé [20]. Není přitom zapotřebí, aby bylo každé zařízení připojeno k internetu pomocí WiFi [20]. Pro komunikaci je ale zapotřebí centrální rozbočovač, který zajišťuje komunikaci mezi zařízeními [20]. Tato technologie je určena pro tvorbu rozsáhlejších bezdrátových sítí s přenosem menšího objemu dat [20]. Jedná se o spolehlivou technologii s nenáročnou implementací a nízkou spotřebou elektrické energie [20]. Díky ZigBee může mít uživatel v jedné aplikaci zařízení od různých značek a výrobců, protože právě ZigBee zajišťuje jejich vzájemnou komunikaci [20].

Technologie ZigBee je určeno primárně pro senzorové sítě v průmyslových aplikacích [19]. Není vhodný pro práce s velkými objemy dat [19]. Pracuje v bezlicenčním frekvenčním pásmu [19].

Výhody bezdrátové technologie ZigBee jsou [20]:

- nízká spotřeba elektrické energie,
- spolehlivost,
- nenáročná implementace,
- pracuje v bezlicenčním frekvenčním pásmu.

Nevýhody jsou [20]:

- nutnost centrálního rozbočovače.

1.2 Světelná signalizace

Pro světelnou signalizaci se nejvíce hodí použití LED. LED se vyrábí programovatelné a neprogramovatelné.

Neprogramovatelné LED jsou běžné LED, které mají 2 vývody - katodu a anodu. Barva LED je dána výrobou a každá LED má pouze jednu barvu. Přiložením daného prahového napětí na diodu v propustném směru se LED rozsvítí danou barvou. Existují také RGB LED, které mají 4 vývody - 3 katody a společnou anodu. Přiložením napětí na konkrétní anodu je rozsvícena konkrétní barva. Při různě nastavené velikosti proudu lze regulovat jas LED a přiložením napětí na více LED lze svítit různými barvami a jejich odstíny.

Programovatelné LED mají datový vstup a napájecí napětí není závislé na barvě LED. Barva je určována programem, taktéž její jas. To tedy znamená, že je zapotřebí je řídit pomocí MCU. Programovatelné LED typu WS2812C lze také spojovat za sebe, takže jsou všechny potřebné LED připojeny k jednomu pinu MCU [18]. Každá LED má pin pro vstupní napětí, GND, vstupní datový pin a výstupní datový pin. Typ inteligentních LED WS2812C je vhodný pro bateriová zařízení. Oproti častěji

používanému typu WS2812B mají $3 \times$ menší spotřebu elektrické energie. Napájecí napětí těchto LED by se mělo pohybovat v rozmezí 4,5 až 5,5 V [18].

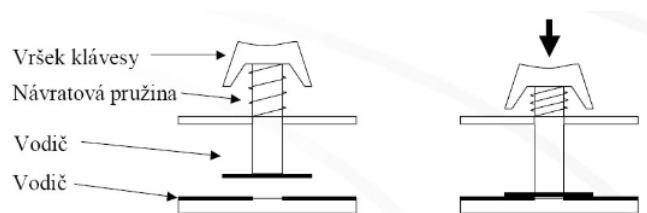
1.3 Senzor doteku

Senzory doteku jsou nezbytnými prvky pro ovládání Semaforu. Mohou sloužit pro přepínání módů, ovládání Semaforu jako takového nebo jako herní součást. Ve hře mohou plnit úlohu přepínače režimů hry, zadávání kódů, určování směru apod.

Nejjednodušším senzorem doteku je tlačítko. Tlačítka mohou být realizována dvěma základními způsoby, mohou být elektromechanická, nebo dotyková kapacitní.

Stisková plocha mechanického tlačítka je nevodivá, často plastová. Mechanické prvky jsou častým zdrojem problémů. Je tím často omezena i životnost celého výrobku. Mechanická konstrukce tlačítek je složitá a finančně nákladná. Mechanická tlačítka zároveň generují zákmity, které je nutno filtrovat nebo tvarovat do použitelné podoby. Nejjednodušším řešením je přidání kondenzátoru. Mechanická tlačítka existují typu NO a NC.

Po zmáčknutí mechanického tlačítka typu NO jsou 2 kovové části tlačítka spojeny, tím dochází ke spojení elektrického obvodu a odpor smyčky je v ideálním případě nulový. Obvod je tedy sepnut. Když je tlačítko rozpojeno, tak je elektrický obvod přerušen a odpor smyčky je v ideálním případě nekonečný. Obvod je tedy rozpojen. U tlačítka typu NC je to naopak. Při stisku tlačítka je obvod rozepnut a při uvolnění stisku je obvod sepnut.



Obr. 1.2: Princip mechanického tlačítka [28].

Výhody mechanických tlačítek jsou:

- jednoduché připojení ke každému GPIO mikrokontroléru,
- odezva je samotný stisk tlačítka,
- fyzické rozpojení obvodu.

Kapacitní tlačítka jsou bez veškerých mechanických prvků, zároveň jsou jednoduchá a mají téměř neomezenou životnost. Jejich výstupní signál je bez jakýchkoli zákmitů nebo rušení. Kapacitní tlačítka lze snadno použít v mnoha aplikacích.

Kapacitní tlačítka jsou tvořena měděnou vrstvou a nejsou nijak mechanicky namáhána. Tlačítko může být zmáčknuto i přes obal krabičky, a proto může být celé zařízení mechanicky odolné i voděodolné.

Nevýhodou kapacitních tlačítek je, že nemají žádnou odezvu na dotyk. U mechanických tlačítek je odezvou samotný fyzický stisk tlačítka. U kapacitních tlačítek lze tento fakt vyřešit například rozsvícením LED nebo vibrační odezvou. Vibrační odezva může být realizována pomocí vibračního motoru.

Některé MCU včetně vybraného mikrokontroléru ESP32-C3 nemají kapacitní vstupy, to znamená, že tlačítko nelze připojit přímo k pinu MCU [11]. Buď musí být vybrán mikrokontrolér, který kapacitní vstupy má, nebo může být použit převodník, který má kapacitní vstupy a jeho výstupy poté mohou být připojeny k MCU.

Výhody kapacitních tlačítek jsou:

- kompaktnost,
- variabilita,
- vysoká spolehlivost,
- odolnost vůči šumu,
- možnost kompenzace rušivých elementů,
- cena.

V návrhu Semaforu byla zvolena kapacitní dotyková tlačítka. Pro možnost použití uvnitř i venku jsou díky možnosti voděodolnosti vhodnějším řešením. Také velikost a označení tlačítka může být variabilní. Velikost může být na DPS navržena dle potřeby a potisk v místě tlačítka vyznačen barevně, nebo např. samolepkou. Odezva na dotyk bude realizována pomocí vibračního motoru.

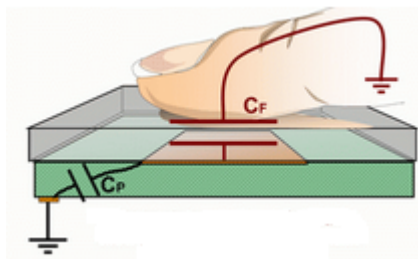
1.3.1 Princip kapacitních dotykových tlačítek

Základní princip je založen na měření změny kapacity. Měď, ze které je tlačítko vytvořeno má nějakou vlastní kapacitu (kapacita samotné nosné desky) a po přiložení prstu je kapacita zvýšena o paralelně připojenou kapacitu přechodu tlačítka a prstu díky obsahu železa v krvi a vodivosti kůže [10]. Prst se tedy chová jako druhá uzemněná elektroda [10].

Kapacita snímače se tedy volí co nejmenší, aby přiložený prst vyvolal co největší změnu kapacity. Ve snímači se vyskytuje RC článek, kterého se mění doba nabíjení kondenzátoru a tím je možné detekovat stisk tlačítka [10].

1.3.2 Návrh kapacitního dotykového tlačítka

Tvar tlačítka nemá vliv na schopnost detekce dotyku [10]. Naopak velký vliv má plocha tlačítka, tloušťka izolační vrstvy, a také vzdálenost jednotlivých tlačítek od sebe [10].



Obr. 1.3: Princip kapacitního tlačítka [10].

Čím větší je plocha tlačítka, tím je větší změna kapacity při dotyku a díky tomu je vytvořena lepší schopnost detekce dotyku [10]. S rostoucí tloušťkou izolační vrstvy se naopak schopnost detekce dotyku snižuje [10].

Pokud jsou tlačítka příliš blízko u sebe, tak může docházet k jejich vzájemnému ovlivňování. Kvůli tomu pak může docházet k detekci dotyku špatného tlačítka, nebo k falešné detekci dotyku. Z doporučení plyne, že pro dotyk prstu je vhodná velikost snímací plochy pro prst 13×13 mm a jejich vzdálenost alespoň 5 mm od sebe [10]. Proti vzájemnému ovlivňování tlačítek se používají uzemňovací meziplošky [10].

U kapacitních dotykových tlačítek je zapotřebí dbát na správné připojení k MCU. U vícevrstvých DPS nesmí pod tlačítka, ani pod příводы k MCU, vést jiné dráhy, ani se zde nesmí vyskytovat jiné součástky [10]. Součástky nesmí být ani z vrchní, ani ze spodní strany DPS [10]. Příводы kapacitních tlačítek k MCU by měly být odstíněny pomocí GND signálu.

Voda a další nečistoty mění vlastní kapacitu tlačítka a může tak docházet k falešným stiskům tlačítka. Tento problém lze řešit softwarově. Lze využít faktu, že nečistoty působí dlouhodobě, ale stisk je krátkodobý [10]. Hodnotu vlastní kapacity tlačítka je tedy možné softwarově upravovat v závislosti na aktuálních dlouhodobějších stavech a detekovat tak přesněji krátkodobý stisk tlačítka.

Pro odlišení tlačítek je místo označeno barevným potiskem.

1.4 Převodník pro kapacitní tlačítka

Vybraný mikrokontrolér ESP32-C3 nemá kapacitní vstupy, proto je zapotřebí kapacitní dotyková tlačítka připojit přes převodník. Je zapotřebí připojit 5 tlačítek.

Použitý převodník AT42QT1070 dokáže pracovat ve 2 režimech. V prvním režimu může být zapojeno maximálně 5 kapacitních tlačítek, která jsou připojena k pinům KEY0 až KEY4. Jako výstup se používají piny OUT0 až OUT4. Každé tlačítko má tedy svůj výstup, který může být připojen k GPIO pinům MCU nebo k nim mohou být připojeny např. LED [17].

Druhý režim je využitelný pouze v případě, je-li převodník připojen k MCU. V tomto případě může být k převodníku připojeno až 7 kapacitních tlačítek, která jsou připojena na pinech KEY0 až KEY6. Převodník poté komunikuje s MCU pomocí komunikační sběrnice I^2C [17]. Z registru převodníku lze poté vyčíst stavy daných kapacitních dotykových tlačítek.

1.5 Napájení

Vzhledem k použití Semaforů při hrách na táborech byly možné pouze 2 způsoby napájení, pomocí powerbanky nebo baterií. Byla zvolena kombinace obou druhů.

Zabudování baterie přináší kompaktnost řešení a pro použití není třeba dalších komponent. Pokud je ale na táboře větší využití, tak se baterie vybije. Na táborech většinou nebývá připojení k elektrické síti a proto je řešením powerbanka. Na Semaforu tedy bude napájecí vstup USB A pro nabíjení baterií přímo z powerbanky. Semafor musí být koncipován tak, aby se mohla baterie nabíjet a zároveň, aby při tom byly Semaforey funkční.

1.5.1 Baterie

Ve výběru baterií hraje velkou roli kapacita, napětí, velikost a cena. Požadavkem je také možnost nabíjení. Při použití na táboře by jinak musely být stále nové baterie v balení a musely by se neustále doplňovat a udržívat.

Moderní baterie jsou náchylné na přepólování, a proto není bezpečné, aby uživatel měnil baterie sám. Baterie budou tedy zabudované v zařízení bez možnosti výměny uživatelem.

Z nabíjecích baterií je možno vybírat z olověných baterií, Ni-MH, Li-Ion, Li-Pol a LiFePO₄ baterií.

Olověné baterie

Maximální životnost olověné baterie je 300 až 400 cyklů [22]. Nominální hodnota jednoho článku jsou 2 V [23]. Jejich výroba je oproti lithiovým bateriím velmi nenáročná [23]. Jejich kapacita je závislá na konkrétním typu baterie [23]. Tyto baterie jsou schopny dodávat vysoké rázové proudy [25]. Olověné akumulátory jsou velké a těžké a pro přenosná zařízení se tedy spíše nehodí. Hlavní nevýhodou, která je mimo jiné vyřadila z výběru pro Semafor, je, že je potřeba je udržívat neustále v nabitém stavu [23]. Její účinnost je závislá na odebíraném proudu a její životnost je závislá na teplotě [23]. Mají dlouhou dobu nabíjení a obsahují toxické olovo, které je škodlivé pro životní prostředí [23]. Olověné baterie se používají především v automobilech jako startovací baterie, v zabezpečovacích systémech atd. [23].

Výhody olověných baterií jsou [23]:

- cena,
- bezpečnost provozu,
- možnost recyklace,
- spolehlivost.

NiMH

Baterie NiMH mají jmenovité napětí 1,20 V a jejich životnost je cca 1000 nabíjecích cyklů [25]. Tyto akumulátory je zapotřebí před prvním použitím, nebo po dlouhém nepoužívání, tzv. naformátovat [25]. Jedná se o pozvolné nabíjení s nízkým nabíjecím proudem [25]. Pro optimální použití je také doporučeno baterii nabít nejpozději 2 hodiny před použitím, aby se snížil vnitřní odpor NiMH baterie [25].

Výhody NiMH baterií jsou [25]:

- cena,
- malé samovybíjení,
- vysoká mechanická odolnost.

Li-Pol

Li-Pol baterie poskytují vysoké nabíjecí proudy a vysokou kapacitu a jejich jmenovité napětí je 3,7 V [25]. Tyto baterie jsou citlivé na přesné nabití, a proto je možné používat pouze nabíječky určené pro nabíjení těchto baterií [25]. Tyto nabíječky mají také balancer [25]. Při skladování je také nutné udržovat nabití na 50 % kapacity [25]. Údržba takové baterie je proto velmi náročná a nehodí se do podobných zařízení, jako je Semafor. Při mechanickém poškození také hrozí požár těchto baterií [25].

Výhody Li-Pol baterií jsou [25]:

- vysoké nabíjecí proudy,
- vysoká kapacita,
- nízké samovybíjení,
- cena.

Li-Ion

Jmenovité napětí Li-Ion baterie je 3,6 V a její životnost je cca 2000 nabíjecích cyklů [24]. Tento typ baterie trpí tzv. stárnutím. Jde o proces, kdy ztrácí svoji kapacitu bez ohledu na používání [24]. Jejich kapacita je tedy závislá na reálném čase a ne frekvenci používání. Jejich velkou nevýhodou je nebezpečí výbuchu při špatné manipulaci, např. zkratu apod. [24].

Výhody Li-Ion baterií jsou [24]:

- nízká hmotnost,

- malé rozměry,
- vysoká kapacita,
- rychlé nabíjení,
- šetrné k životnímu prostředí.

LiFePO4

LiFePO4 baterie mají jmenovité napětí v rozsahu 3 až 3,3 V [22]. Její minimální provozní napětí je pak 2,5 V a maximální je 3,65 V [22]. LiFePO4 je dnes baterie známá jako nejbezpečnější, nejspolehlivější a nejstabilnější baterie obsahující lithium [22]. Je to nejvhodnější baterie pro přenosná zařízení díky velmi dobrému poměru valikosti (hmotnosti) a kapacity. Její životnost je až $4 \times$ větší než u baterie Li-Ion [22]. Je také hodnocena jako nejbezpečnější z dosud dostupných baterií [22]. Baterie LiFePO4 mohou standardně dosáhnout životnosti až 7000 cyklů, to odpovídá cca 15 letům při běžném používání [22]. Článek LiFePO4 je teplotně stabilní, nehořlavý (ani při zkratu), netrpí samovybíjením, není toxický a nevytéká [22].

LiFePO4 baterie v dnešní době nahrazují baterie typu Li-Ion nebo Li-Pol. Tyto bateriové články jsou vhodné především pro použití v elektromobilech, solárních a větrných elektrárnách, elektrokoloběžkách atd.

Výhody LiFePO4 baterií jsou [21]:

- vysoký jmenovitý proud,
- minimální ztráty,
- krátká doba dobíjení,
- chemická odolnost,
- vynikající poměr výkonu ku hmotnosti,
- životnost tisíce cyklů,
- snadnější recyklace,
- bez využití toxických prvků.

1.6 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér je hlavním prvkem každého zařízení včetně Semaforu. Mikrokontrolérů existuje nespočetné množství od mnoha výrobců a při výběru je nutno brát v potaz množství požadovaných parametrů a požadované periferie. Komunikační moduly pro bezdrátovou komunikaci se připojují nejčastěji pomocí I^2C nebo UART. Převodník pro kapacitní tlačítka komunikuje po I^2C sběrnici, proto je sběrnice I^2C nutnou výbavou. Pro připojení zvukových a vibračních periférií jsou zapotřebí GPIO piny a pro připojení měření baterie je nutné GPIO pin s ADC převodníkem.

Cenu mikrokontroléru určuje především počet periférií, počet GPIO pinů a výpočetní výkon.

Výhodou je možnost připojení USB, aby nebylo nutné používat převodník pro komunikaci při programování.

Existují mikrokontroléry, které již WiFi modul obsahují. Jsou to mikrokontroléry z řady ESP32 od firmy Espressif. Dalšími známými výrobci mikrokontrolérů jsou Microchip, Motorola, NXP nebo STMicroelectronics.

Faktory ovlivňující výběr řídicího mikrokontroléru:

- dostatečný počet GPIO pinů,
- dostatek paměti,
- nízká spotřeba,
- WiFi,
- ADC,
- I^2C ,
- UART,
- cena.

2 Výběr a návrh elektroniky

2.1 Bezdrátová technologie

Ke komunikaci Semaforů mezi sebou byla zvolena technologie LoRa. Tato technologie byla zvolena především kvůli komunikačnímu dosahu. Jedná se sice o dražší technologii, ale na tolik, aby ji nebylo možné v tomto zařízení použít. Táborové hry se většinou hrají na loukách, které mají rozlohu několik stovek metrů čtverečných. LoRa je jedinou dostupnou technologií, která na tyto vzdálenosti spolehlivě komunikuje. Bezdrátové propojení Semaforů bude použito pro posílání informací o aktuálně svítící barvě, či stisku tlačítka v závislosti na hře, která se aktuálně hraje. U některých her například může být žádoucí, aby po přepínání nesvítily všechny Semaforey stejnou barvou, díky této komunikaci se bude moci být takovým stavům zabráněno.

K propojení Semaforu s telefonem a dalšími zařízeními byla vybrána technologie WiFi. Jedná se o rozšířenou technologii, která je v telefonech a noteboocích zabudovaná. Propojení bude tedy jednoduché a nastavovat hry se mohou na webové stránce. Mikrokontrolér vytvoří WiFi, ke které se pomocí telefonu připojí. Po připojení bude zobrazena webová stránka, kde bude seznam her, které Semafor umí. U jednotlivých her se poté budou moci nastavovat další parametry. Po nasatvení se konfigurace pošle do Semaforu.

2.2 Mikrokontrolér

WiFi modul obsahuje jako jediný mikrokontrolér od firmy Espressif z řady ESP32. Konkrétně jde o typ ESP32-C3-MINI, dále již je ESP32-C3. Je také nabízen za cenu, která je v porovnání s ostatními nízká a v porovnání s nabízenými parametry bezkonkurenční. Pro zařízení Semaforu je také se svým počtem periférií dostačující. ESP32-C3 má 384 kB ROM a 4 MB flash paměti [11]. Dále obsahuje WiFi modul pracující na frekvenci 2,4 GHz a Bluetooth [11]. ESP32-C3 obsahuje SPI, UART, I^2C , USB a další [11]. V mikrokontroléru je také zabudován krystal s vlastní frekvencí 40 MHz a v rámci pouzdra je také anténa pro WiFi [11].

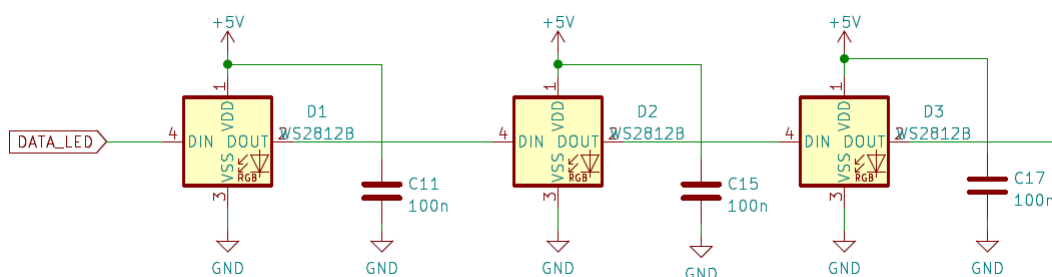
Rozsah napájecího napětí je 3 až 3,6 V [11]. Jeho průměrný proudový odběr je XXX a jeho minimální odběr proudu v režimu spánku je XXX Mikrokontrolér ESP32-C3 garantuje pracovní teplotu od -45 °C až do 85 °C [11].

Mikrokontrolér ESP32-C3 nemá kapacitní vstupy a proto je zapotřebí pro kapacitní tlačítka použít převodník pro zpracování signálu z nich [11].

2.3 LED

Jedním z nejdůležitějších požadavků na Semafor bylo, aby mohl svítit. Čím více možností, jak svítit, tím bude využití při hrách a táborových programech různorodější. K tomuto účelu jsou použity LED.

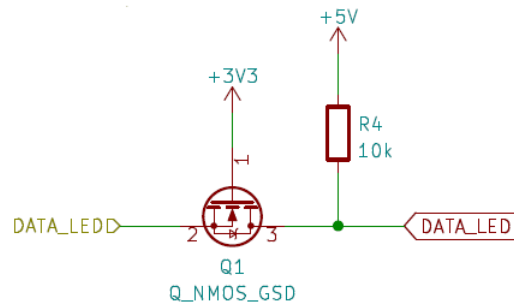
K tomu by byl zapotřebí mikrokontrolér s velkým množstvím GPIO pinů. Takových mikrokontrolérů není mnoho a zároveň by se to odrazilo na ceně. Počet GPIO pinů je jedním z hlavních limitujících faktorů při výběru MCU. Proto byly použity programovatelné LED typu WS2812C.



Obr. 2.1: Zapojení inteligentních LED WS2812C.

Komunikační napěťová úroveň logické jedničky těchto LED by měla být alespoň na úrovni 70 % napájecího napětí [18]. Protože použitý mikrokontrolér ESP32-C3 má komunikační napěťovou úroveň logické jedničky jeho napájecí napětí, což je 3 až 3,6 V, tak je zapotřebí využít převodník napěťové úrovně [11]. Komunikace je v tomto případě pouze jednosměrná, to znamená, že MCU posílá data do LED, ale LED neposílají žádná data do MCU. Převodník je realizován unipolárním tranzistorem a jedním pullup rezistorem. Rezistor je připojen pro k napájecímu napětí inteligentních LED WS2812C. Tranzistor Q1 má gate připojený k napájecímu napětí MCU. Pokud bude mikrokontrolér do LED posílat logickou jedničku, tak bude rozdíl mezi gate a source 0 V. Tím pádem bude tranzistor uzavřený a tím se přes rezistor R4 připojí k LED jejich napájecí napětí. Toto napětí je pro inteligentní LED logickou jedničkou. Pokud bude MCU posílat logickou nulu, tedy 0 V, tak je rozdíl napětí mezi gate a source napájecí napětí mikrokontroléru. Tranzistor je tedy otevřený a tím se napětí 0 V dostane k inteligentním LED a na rezistoru se objeví úbytek napětí o velikosti napájecího napětí inteligentních LED. Napětí 0 V je logickou nulou i pro inteligentní LED. Tento převodník je určen pouze pro komunikaci jedním směrem.

Tyto programovatelné LED mají maximální spotřebu 5 mA na jeden kanál. Při zapnutí všech kanálů (svícení bílou) je maximální spotřeba jedné LED 15 mA [18]. Pokud LED nesvítí, tak je její maximální klidový proud 0,3 mA [18]. Při použití 12 LED je tedy maximální odběr všech LED 180 mA.



Obr. 2.2: Zapojení převodníku úrovně pro WS2812C.

Kondenzátor u každé LED slouží pro filtraci napájecího napětí.

2.4 Vibrační motor

Vibrační motory jsou založeny na principu kmitání. Motor je připevněn k zařízení, které je kmitáním rozvibrováno. Vibrační motory jsou dnes nedílnou součástí mnoha elektronických zařízení včetně mobilního telefonu nebo dětských hraček.

Dioda slouží jako ochrana proti přepětí, protože motor je indukční zátěž, takže vytváří napěťové špičky. Díky diodě je mikrokontrolér chráněn proti špičkovému napětí, které by se na něj mohlo dostat. Kondenzátor slouží k tomu, aby napěťové špičky eliminovat, nebo alespoň zmenšoval.

Vibrační motor je připojen k mikrokontroléru přes tranzistor, protože maximální výstupní proud z pinu MCU není dostatečně velký na to, aby motor roztočil. Tranzistor je tedy připojen na gate tranzistoru, který se při logické jedničce na pinu sepne a motorem protéká proud, který nedodává MCU, ale zdroj 3.3 V (v tomto případě baterie LiFePO₄). Baterie tak dokáže dodat dostatek proudu, aby se motor roztočil.

Pro Semafor byl vybrán vibrační motor LCM1020A2945F. Tento motor má maximální požadovaný proud 120 mA [16]. Maximální proud, který lze odebírat z pinu mikrokontroléru ESP32-C3, je 40 mA [11]. Vibrační motor lze pouze spínat, nebo je možné jej připojit k pinu, který dokáže generovat PWM a lze tím regulovat jeho otáčky.

Vibrační motor slouží jako odezva na dotyk kapacitního tlačítka.

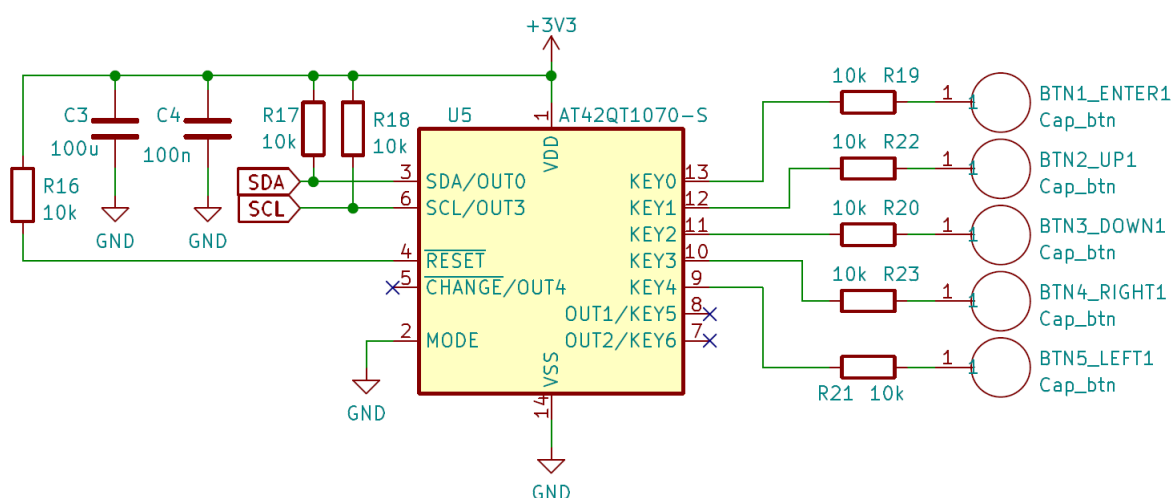
2.5 Převodník pro kapacitní tlačítka

Byl vybrán převodník pro kapacitní tlačítka AT42QT1070. Jelikož je v tomto návrhu Semaforu využit mikrokontrolér, který podporuje komunikaci po sběrnici I^2C , tak bylo využito právě zapojení s komunikací přes I^2C . Díky tomu budou využity pouze

2 GPIO piny mikrokontroléru ESP32-C3 a ne 5 GPIO pinů, které by byly zapotřebí při zapojení bez komunikace pro sběrnici I^2C .

Převodník má kondenzátory C3 a C4 připojeny na napájecím pinu vůči zemi, aby nebyly případné proudové špičky přivedeny na napájení převodníku. Rezistory R17 a R18 slouží jako pullup rezistory při komunikaci pomocí sběrnice I^2C s mikrokontrolérem EP32-C3. Na piny KEY0 až KEY4 jsou připojena kapacitní dotyková tlačítka.

Pin MODE je připojen k signálu GND, protože převodník je provozován v režimu komunikujícím přes I^2C sběrnici [17].



Obr. 2.3: Zapojení převodníku AT42QT1070 pro kapacitní tlačítka.

2.6 Napájení

Při realizaci Semaforu byl vybrán článek baterie LiFePO4 právě kvůli již zmíněným vynikajícím vlastnostem. Vybraný mikrokontrolér má napájecí napětí v rozsahu 3 až 3,6 V [11]. Pro funkci mikrokontroléru tedy nebude muset být použit ani převodník napětí.

2.6.1 Nabíjecí obvod

Nabíjecí obvody jsou závislé na konkrétním typu baterií, které budou nabíjeny. Vzhledem k vybranému typu baterií LiFePO4 byly uvažovány pouze komerčně dostupné integrované obvody, které jsou určeny pro nabíjení tohoto typu baterií.

Vybraný typ baterií LiFePO4 lze nabíjet pomocí obvodu CN3058E [12].

Nabíjecí obvod CN3058E je určen pro nabíjení pouze LiFePO4 baterií a lze jím napájet právě 1 článek těchto baterií [12]. Napájecí napětí tohoto nabíjecího čipu se pohybuje mezi 3,8 až 6 V [12]. Díky tomu lze přímo použít napětí z USB konektoru.

Když je nabíjecí obvod odpojen od napájecího napětí, tak přejde do režimu spánku [12]. V tomto režimu je baterie vybíjena proudem menším než $3 \mu\text{A}$ [12]. Tento proud je oproti klidovým proudům jiných součástek zanedbatelný, a proto nemusí být baterie od nabíjecího obvodu odpojována, když není nabíjena.

Nabíjecí obvod CN3058E umí také vyhodnocovat teplotu baterie a v závislosti na tom přestávat baterii nabíjet [12]. Tato funkce není v zapojení využita, proto je pin TEMP připojen k signálu GND [12].

Tento nabíjecí obvod se vyrábí ve standardizovaném pouzdře SOP8 [12].

2.6.2 Zapojení nabíjecího obvodu

Rezistor připojený k pinu ISET slouží pro nastavení hodnoty nabíjecího proudu [12]. V tomto zapojení byl počítán pro nabíjecí proud 1 A dle rovnice:

$$I_{CH} = \frac{U_{ISET}}{R_8} \cdot 1011. \quad [12] \quad (2.1)$$

Velikost rezistoru R8 byla počítána na velikost nabíjecího proudu 1 A dle následující rovnice:

$$R_8 = \frac{U_{ISET}}{I_{CH}} \cdot 1011 = \frac{1}{1} \cdot 1011 = XXX \text{ k}\Omega. \quad [12] \quad (2.2)$$

Z výpočtu vyplývá, že rezistor by měl mít hodnotu 1218 Ω . Nejbližší hodnota z rezistorové řady E12 je hodnota 1,2 k Ω , proto byl také zvolen rezistor o této hodnotě [13]. Odpovídá tomu nabíjecí proud 1015 mA, který nebude mít vliv na životnost baterií.

Vstupní a výstupní kondenzátory slouží pro filtraci záskmitů napájecího napětí a také napětí, kterým je nabíjena baterie. Hodnoty kondenzátorů byly převzaty z doporučení z datasheetu.

Kladný pól nabíjené baterie je připojen na pinu BAT, záporný pól je připojen ke GND. Pin BAT poskytuje nabíjecí proud do baterie a zároveň poskytuje konstantní nabíjecí napětí. V režimu spánku je svodový proud tohoto pinu $3 \mu\text{A}$ [12].

Pin VIN slouží pro napájení vnitřního obvodu CN3058E. Je na něj přikládáno napájecí napětí z USB, tedy 5 V. Pokud napájecí napětí klesne na napětí o 10 mV nižší, než je napětí na pinu BAT, tak vnitřní obvod přechází do režimu spánku [12]. V tomto režimu klesá proud pinu BAT na méně než $3 \mu\text{A}$ [12].

Tento nabíjecí obvod má možnost indikace nabíjení baterií a dokončení nabíjení. Tato indikace je realizována pomocí 2 LED připojených přes pullup rezistor.

Hodnota pullup rezistoru byla převzata z doporučení z datasheetu. Červená LED indikuje nabíjení baterií a je připojena na pin /CHRG a zelená LED indikuje dokončené nabíjení a je připojena na pin /DONE. Obě LED jsou k pinům nabíjecího čipu připojeny katodou.

Obvod CN3058E může také měřit teplotu na nabíjené baterii. Slouží k tomu vstupní pin TEMP. Měření probíhá pomocí odporového děliče, jehož střed je připojen na snímač teploty. Tento snímač je připojen na baterii. Pokud je napětí na pinu TEMP nižší než 45 % nebo vyšší než 80 % úrovně napájecího napětí, tak je indikována moc nízká nebo moc vysoká teplota baterie a nabíjení je zastaveno [12]. Jinak nabíjení pokračuje. Uzemněním pinu TEMP je funkce měření teploty deaktivována [12]. V této práci není měření teploty baterií využíváno, a proto je pin TEMP připojen ke GND.

Pokud není baterie nabíjena, tak by svodový proud pinu BAT nabíjecího obvodu CN3058E vybíjel baterii. Svodový proud tohoto pinu je $3\text{ }\mu\text{A}$ [12]. Aby se baterie zbytečně navybíjela, tak je do obvodu připojen tranzistor Q2, který detekuje připojené napětí k nabíjecímu obvodu. Pokud je napětí připojeno, tak je tranzistor otevřen a baterie je nabíjena. Pokud napětí připojeno není, tak je tranzistor uzavřen a baterie je díky tomu odpojena od nabíjecího obvodu. Díky tomu není vybíjena svodovým proudem pinu BAT.

2.7 Světelná signalizace

Pro realizaci světelné signalizace pro hry byly vybrány inteligentní programovatelné LED typu WS2812C. Pro napájení těchto inteligentních LED je zapotřebí napětí v rozsahu 4,5 až 5,5 V [18]. Použité baterie LiFePO₄ mají napětí pouze 3,2 V, proto je zapotřebí použít zvyšovač napětí na 5 V.

Pro realizaci signalizace přítomnosti napájecího napětí byly vybrány neprogramovatelné LED. Zelená LED byly vybrány 2, jedna pro indikaci přítomnosti napětí 5 V a druhá pro indikaci přítomnosti napětí 3,3 V z baterií. Tyto LED budou použity pouze na prototypu pro ulehčení ožívování. Dále budou odstraněny kvůli šetření energie, protože jde o bateriově napájené zařízení. Přítomnost svitu tzv. power LED by také mohla mást při hře nebo různých úkolech.

Z komerčně dostupných integrovaných obvodů byl hledán zvyšovač napětí, který vytváří z napětí 3,3 V napětí 5 V a dodávat přitom do výstupu proud alespoň 200 mA. Maximální odběr všech 12ti potřebných inteligentní LED má maximální odběr 180 mA. S rezervou je tedy zapotřebí proud alespoň 200 mA. Nalezené obvody, které vyhovují těmto parametrům jsou LT1930 a MCP1640.

Obvod LT1930 v doporučeném zapojení při vstupním napětí 3,3V vytváří výstupní napětí o hodnotě 5 V s maximálním odběrem proudu 480 mA [14]. Napájecí

napětí tohoto obvodu je v rozsahu 2,45 V až 16 V, což vyhovuje napájecímu napětí z baterií LiFePO₄ [14].

Obvod MCP1640 v doporučeném zapojení s rozsahem vstupního napětí 3 až 4,2 V vytváří výstupní napětí o hodnotě 5 V s maximálním odběrem proudu 300 mA [15].

Byl vybrán zvyšovač napětí LT1930, díky své lepší dostupnosti v této době nedostatku čipů, a také dokáže do výstupu dodat vyšší proud. Zapojení obou čipů je téměř totožné.

Pin /SHDN slouží k zapínání a vypínání obvodu. Pomocí přiloženého napětí 2,4 V a více na tento pin je obvod zapnut [14]. Pin SW slouží pro připojení cívky, případně diody, aby se snížilo elektromagnetické rušení [14].

Pin FB slouží pro zapojení zpětné vazby napětí na baterii. Jeho referenční napětí musí být nastaveno v rozmezí 1,240 V až 1,270 V, typická hodnota je však 1,255 V [14]. Pro výstupní napětí 5 V byl zvolen rezistor R₁₀ o hodnotě 13 kΩ z rezistorové řady E24 [13]. Řada E24 byla zvolena kvůli požadované přesnosti napětí na pinu FB obvodu LT1930. Napětí na rezistoru R₁₀ musí být tedy 1,255 V. Na rezistoru R₉ je tedy úbytek napětí 3,745 V. Pomocí trojčlenky byla dopočítána hodnota rezistoru R₉ dle rovnice:

$$R_9 = \frac{R_{10} \cdot U_{R9}}{U_{R10}} = \frac{13 \cdot 3,745}{1,255} = 38,79 \text{ k}\Omega. \quad (2.3)$$

Nejbližší hodnota rezistoru z rezistorové řady E24 je 39 kΩ [13]. Reálná hodnota napětí na rezistoru R₁₀, tj. napětí na pinu FB byla dopočítána dle rovnice:

$$U_{R10} = \frac{U_{OUT}}{R_9 + R_{10}} \cdot R_{10} = \frac{5}{39 + 13} \cdot 13 = 1,25 \text{ V}. \quad (2.4)$$

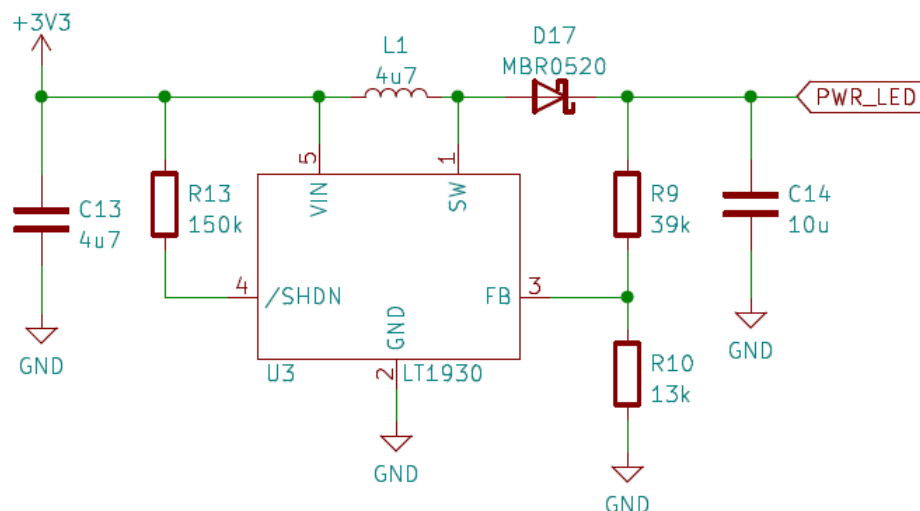
Napětí 1,25 V je v povoleném rozmezí napětí na pinu FB.

Přesné výstupní napětí se spočítá podle vzorce:

$$U_{OUT} = U_{FB} \cdot \left(1 + \frac{R_9}{R_{10}}\right) = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{39}{13}\right) = 5 \text{ V}. \quad [14] \quad (2.5)$$

Shottkyho dioda byla vybrána dle doporučení z dokumentace. Byla vybrána dioda typu MBR0520, protože maximální napětí na diodě nepřekročí 20 V a protékající proud nepřesáhne 0,5 A [14].

Byla vybrána cívka, která odpovídá doporučení z dokumentace. Přesný typ, který byl v dokumentaci zmíněn nebyl k dispozici, a proto byl vybrán typ velmi podobný a vlastnostmi odpovídající. Cívka CDRH3D18NP-4R7NC má feritové jádro, které je pro funkci požadováno [14]. Pro typ LT1930 by měl být proud, který cívkou může protékat, alespoň 1 A a její indukčnost by měla být 4,7 μH nebo 10 μH [14]. Vybraná cívka má indukčnost 4,7 μH, proud, který jí může protékat je 1,35 A a její rozměry jsou 3,8 × 3,8 × 2 mm [29].



Obr. 2.4: Zapojení zvyšovače napětí LT1930.

2.8 Zvuková signalizace

Zvuková signalizace může sloužit například pro potvrzení správnosti hesla, možnosti odejít na další stanoviště, vypršení času pro daný úkol a mnoho dalších.

Jako zvuková signalizace bylo vybráno piezo s vlastním oscilátorem typu BMT1205XH7.5 [30]. Maximální odebíraný proud vybraného pieza je 30 mA a rezonanční frekvence je 2,3 kHz [30]. Intenzita zvuku pieza je ve vzdálenosti 10 cm od něj minimálně 83 dB [30].

2.9 Konektor

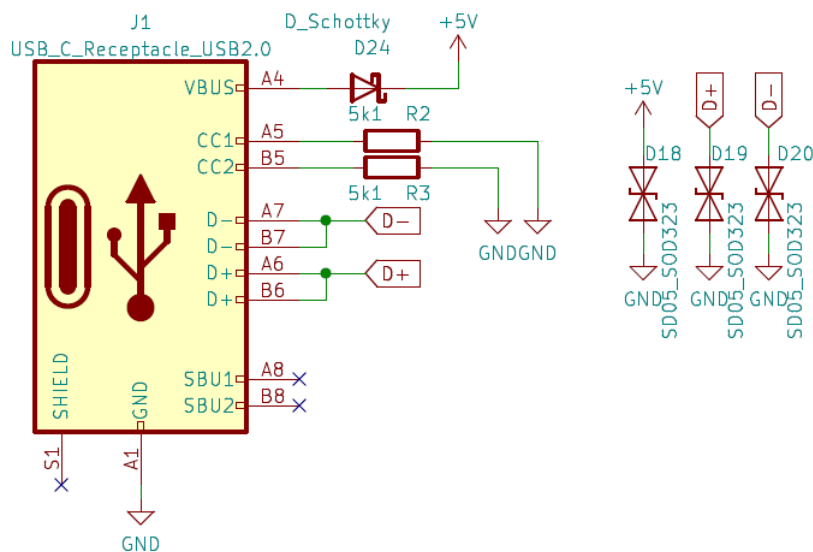
Jako programovací konektor byl zvolen konektor USB typu C, který může být použit i jako konektor pro nabíjení baterie.

Tento konektor je v dnešní době velmi rozšířený a jeho použití se v následující době stále rozšiřuje.

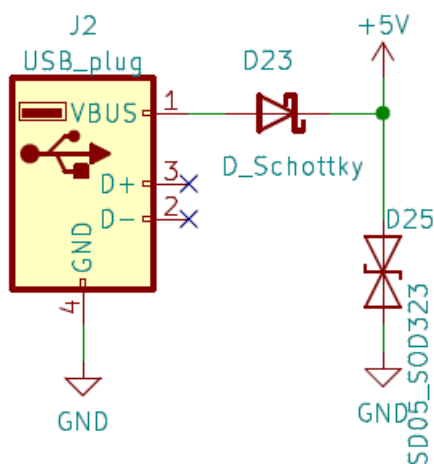
Není využíváno žádných výhod konektoru USB-C, jako je např. možnost power delivery apod. Je využíván pouze jako standardní a dostupný konektor, který je mezi běžnou populací rozšířený a v následujících letech se bude rozšiřovat stále více. Je využito standardního jmenovitého napětí 5 V pro nabíjení baterií a nadále pinů D+ a D-, které jsou využity pro komunikaci při programování.

Konektor USB-C je robustní a oboustranný, díky čemuž nebude docházet k tak častému poškození, jak by mohlo být např. u konektoru Micro USB. Při používání běžnou veřejností se jedná o vítaný bonus.

Vybraný mikrokontrolér ESP32-C3 umožňuje komunikaci přímo po USB protokolu a není díky tomu zapotřebí žádného převodníku pro komunikaci [11].



Obr. 2.5: Zapojení konektoru USB-C.

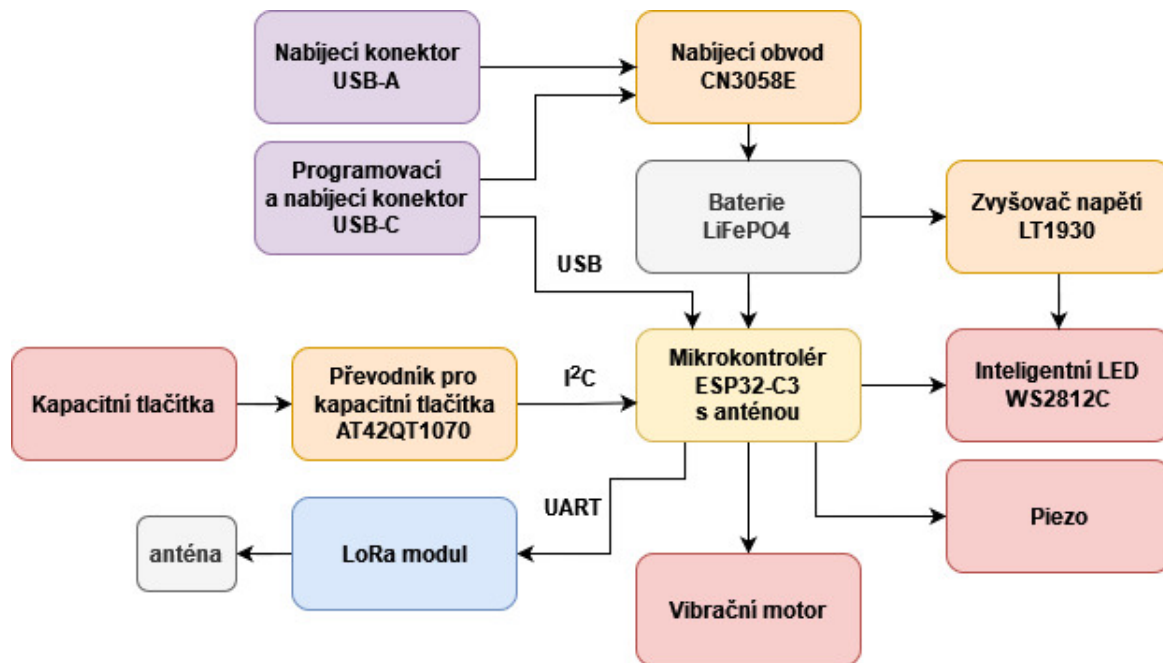


Obr. 2.6: Zapojení konektoru USB-A.

2.10 Výsledné zapojení

Pro realizaci Semaforu byly vybrány následující komponenty: mikrokontrolér ESP32-C3, baterie LiFePO4, nabíjecí obvod CN3056E, konektory USB-C a USB-A, kapacitní tlačítka s převodníkem AT42QT1070, inteligentní LED WS2812C s převodní-

kem napětí LT1930, piezo, vibrační motor a LoRa modul. LoRa modul komunikuje s mikrokontrolérem pomocí sběrnice UART, převodník pro kapacitní tlačítka pomocí sběrnice I^2C a programování bude probíhat pomocí USB. Vše he zapojeno dle následujícího blokového schématu.



Obr. 2.7: Výsledné blokové schéma Semaforu.

Závěr

Tato práce se zabývá návrhem zařízení Semafor. Byla navržena kompletní elektronika potřebná pro funkce, které má Semafor splňovat.

V první části jsou rozebrány možnosti použitých komponent, které mohou využity při výrobě Semaforu. Následně jsou z výběru použity nejvhodnější komponenty dle periferií, ceny i možnostech použití v outdoorových aplikacích. Pro komunikaci Semaforů mezi sebou je připojen LoRa modul, který zajišťuje komunikaci na dostatečnou vzdálenost při použití na táborech.

Výsledné schéma je přiloženo v příloze.

Pro konfiguraci her, např. nastavení, která hra se hraje a s jakými parametry, slouží dotykové senzory a do budoucna bude také vytvořena webová stránka, ke které se bude připojovat pomocí WiFi. Konfigurace bude probíhat na této vytvořené webové stránce.

Literatura

- [1] VUT v Brně: *Úprava, odevzdávání a zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací na VUT v Brně* [online]. Směrnice rektora č. 2/2009. Brno: 2009, poslední aktualizace 24. 3. 2009 [cit. 23. 10. 2015]. Dostupné z URL: <https://www.vutbr.cz/uredni-deska/vnitрни-predpisy-a-dokumenty/smernice-rektora-f34920/>.
- [2] ČSN ISO 690 (01 0197) *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. 40 stran. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [3] ČSN ISO 7144 (010161) *Dokumentace – Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. 24 stran. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [4] ČSN ISO 31-11 *Veličiny a jednotky – část 11: Matematické znaky a značky používané ve fyzikálních vědách a v technice*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [5] BIERNÁTOVÁ, O., SKŮPA, J.: *Bibliografické odkazy a citace dokumentů dle ČSN ISO 690 (01 0197) platné od 1. dubna 2011* [online]. 2011, poslední aktualizace 2. 9. 2011 [cit. 19. 10. 2011]. Dostupné z URL: <http://www.citace.com/CSN-ISO-690.pdf>
- [6] *Pravidla českého pravopisu*. Zpracoval kolektiv autorů. 1. vydání. Olomouc: FIN PUBLISHING, 1998. 575 s. ISBN 80-86002-40-3.
- [7] WALTER, G. G.; SHEN, X. *Wavelets and Other Orthogonal Systems*. 2. vyd. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2000. 392 s. ISBN 1-58488-227-1
- [8] SVAČINA, J. Dispersion Characteristics of Multilayered Slotlines – a Simple Approach. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1999, vol. 47, no. 9, s. 1826–1829. ISSN 0018-9480.
- [9] RAJMIC, P.; SYSEL, P. Wavelet Spectrum Thresholding Rules. In *Proceedings of the International Conference Research in Telecommunication Technology*, Žilina: Žilina University, 2002. s. 60–63. ISBN 80-7100-991-1.
- [10] VOJÁČEK, A.: *Pravidla pro konstrukci kapacitních dotykových tlačítek mTouch* [online]. 2008, poslední aktualizace 13. 12. 2008 [cit. 26. 10. 2022]. Dostupné z URL: <https://automatizace.hw.cz/pravidla-pro-konstrukci-kapacitnich-dotykovych-tlacitek-mtouch>

- [11] Espressif Systems: *ESP32-C3-MINI-1* [online]. 2022, poslední aktualizace 2022 [cit. 31.10.2022]. Dostupné z URL: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3-mini-1_datasheet_en.pdf>
- [12] CONSONANCE: *1A LiFePO₄ Battery Charger CN3058E* [online]. 2022, poslední aktualizace 2022 [cit. 31.10.2022]. Dostupné z URL: <<http://www.consonance-elec.com/en/static/upload/file/20220425/1650867856106004.pdf>>
- [13] Radioklub OK1KVK: *Elektrotechnické řady hodnot E3, E6, E12, E24* [online]. 2011, poslední aktualizace 25.05.2011 [cit. 31.10.2022]. Dostupné z URL: <<https://ok1kvk.cz/clanek/2011/elektrotechnicke-rady-hodnot-e3-e6-e12-e24/>>
- [14] LINEAR TECHNOLOGY: *LT1930/LT1930A* [online]. 2001, poslední aktualizace 2001 [cit. 5.11.2022]. Dostupné z URL: <<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/1930f.pdf>>
- [15] Microchip Technology Inc.: *MCP1640/B/C/D* [online]. 2010, [cit. 30.12.2022]. Dostupné z URL: <<https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/APID/ProductDocuments/DataSheets/MCP1640-Family-Data-Sheet-DS20002234E.pdf>>
- [16] LEADER: *PRODUCT SPECIFICATION LCM1020A2945F* [online]. 2021, poslední aktualizace 20.08.2021 [cit. 9.11.2022]. Dostupné z URL: <https://datasheet.lcsc.com/lcsc/2109230030_LEADER-LCM1020A2945F_C2891560.pdf>
- [17] Atmel: *Atmel AT42QT1070* [online]. 2013, poslední aktualizace 05.2013 [cit. 9.11.2022]. Dostupné z URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-9596-AT42-QTouch-BSW-AT42QT1070_Datasheet.pdf>
- [18] Worldsemi: *WS2812C Intelligent control LED* [online]. 2007, poslední aktualizace 2007 [cit. 10.11.2022]. Dostupné z URL: <https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1810231210_Worldsemi-WS2812C_C114587.pdf>
- [19] RNDr. Michal Černý, Ph.D.: *Bezdrátové protokoly - základní přehled* [online]. 2014, poslední aktualizace 16.01.2014 [cit. 12.11.2022]. Dostupné z URL: <https://is.muni.cz/el/1421/jaro2013/VIKMB15/um/Bezdratove_protokoly.pdf>
- [20] Smart-switch: *ZIGBEE VS WIFI, CO JE LEPŠÍ?* [online]. 2021, poslední aktualizace 10.03.2021 [cit. 13.11.2022]. Dostupné z URL: <<https://www.smart-switch.cz/blog/zigbee-vs-wifi-co-je-lepsi/>>

- [21] VANDA, D.: *LiFePO₄ baterie: V čem jsou lepší než Li-Ion či Li-Pol a proč je chtít?* [online]. 2022, poslední aktualizace 05.10.2022 [cit. 05.12.2022]. Dostupné z URL: <<https://insmart.cz/lifepo4-baterie-v-cem-jsou-lepsi-nez-li-ion-ci-li-pol-a-co-nabizi/>>
- [22] MALINA GROUP: *Co jsou to baterie LiFePO₄?* [online]. 2021, poslední aktualizace 27.11.2021 [cit. 05.12.2022]. Dostupné z URL: <<https://malinagroup.cz/co-jsou-to-baterie-lifepo4/?gclid=Cj0KCQiAyracBhDoARIsACGFcS5eip8JqXIovxZ4ZCmRtD1Qhd0keRIml-H54afd2dTpAnDb95mwpwcB>>
- [23] ŠPINA, M.: *Olověné baterie: Stálíce na poli akumulace již více než půldruhého století* [online]. 2021, poslední aktualizace 17.06.2021 [cit. 05.12.2022]. Dostupné z URL: <<https://oenergetice.cz/akumulace-energie/olovene-baterie-stalice-poli-akumulace-jiz-vice-nez-puldruheho-stoleti>>
- [24] DUFKOVÁ, M.: *Li-ion baterie* [online]. 2015, poslední aktualizace 25.04.2015 [cit. 05.12.2022]. Dostupné z URL: <<https://www.3pol.cz/cz/rubriky/prakticke-informace/1677-li-ion-baterie>>
- [25] ASTRA: *Přehledné informace o typech akumulátorů* [online]. 2018, poslední aktualizace 28.11.2018 [cit. 05.12.2022]. Dostupné z URL: <<https://www.astramodel.cz/cz/blog/prehledne-informace-o-typech-akumulatoru.html>>
- [26] IoTPORT: *LoRaWAN - připojení do sítě IoT* [online]. 2022, [cit. 28.12.2022]. Dostupné z URL: <<https://www.iotport.cz/lorawan-sit-pro-iot>>
- [27] PECH, J.: *IOT TECHNOLOGIE: LORA A LORAWAN (3/5)* [online]. 2019, poslední aktualizace 19.02.2019 [cit. 28.12.2022]. Dostupné z URL: <<https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-lora-a-lorawan-3-5/>>
- [28] SSP Brno: *Klávesnice* [online]. 2019, poslední aktualizace 19.02.2019 [cit. 29.12.2022]. Dostupné z URL: <https://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/11562/mod_resource/content/2/cast2_06_klavesnice.pdf>
- [29] Sumida: *SMD Power Inductor CDRH3D18* [online]. 2017, poslední aktualizace 09.01.2017 [cit. 01.01.2023]. Dostupné z URL: <https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1809140821-Sumida-CDRH3D18NP-4R7NC_C167273.pdf>
- [30] Bestar Acoustic: *Magnetic transducer* [online]. 2003, poslední aktualizace 28.05.2003 [cit. 01.01.2023]. Dostupné z URL: <<https://www.tme.eu/>>

Document/1ff2ab27ffcd141d4c8d7506962ac351/bmt1205xh7_5_020200.
pdf>

Seznam obrázků

1.1	Základní blokové schéma Semaforu	11
1.2	Princip mechanického tlačítka	15
1.3	Princip kapacitního tlačítka	17
2.1	Zapojení inteligentních LED WS2812C	23
2.2	Zapojení převodníku úrovní pro WS2812C	24
2.3	Zapojení převodníku AT42QT1070 pro kapacitní tlačítka	25
2.4	Zapojení zvyšovače napětí LT1930	29
2.5	Zapojení konektoru USB-C	30
2.6	Zapojení konektoru USB-A	30
2.7	Výsledné blokové schéma Semaforu	31

Seznam tabulek

A.1 Přehled příkazů	42
-------------------------------	----

Seznam výpisů

C.1	Ukázka sazby zkratk	44
C.2	Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab.	45
C.3	Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C.	46

Seznam symbolů a zkratek

ADC	Analog to Digital Converter - analogově-digitální převodník
dB	decibel - jednotka intenzity zvuku
DPS	Deska plošného spoje
GND	Ground - nulový potenciál
GPIO	General Purpose Input/Output - vstupně-výstupní piny
IoT	Internet of Things
I²C	Inter-Integrated Circuits - multi-masterová sériová komunikační sběrnice
LED	Light-Emitting Diode - dioda emitující světlo
LoRa	Long Range Radio
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
MCU	Mikrokontrolér
NFC	Near Field Communication
ROM	Read-Only Memory - typ elektronické paměti
SPI	Serial Peripheral Interface - sériové komunikační periferní rozhraní
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter - komunikační sběrnice
USB	Universal Serial Bus
WiFi	Wireless Fidelity

Seznam příloh

A	Některé příkazy balíčku <code>thesis</code>	42
A.1	Příkazy pro sazbu veličin a jednotek	42
A.2	Příkazy pro sazbu symbolů	42
B	Druhá příloha	43
C	Příklad sazby zdrojových kódů	44
C.1	Balíček <code>listings</code>	44
D	Obsah elektronické přílohy	47

A Některé příkazy balíčku thesis

A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek

Tab. A.1: Přehled příkazů pro matematické prostředí

Příkaz	Příklad	Zdroj příkladu	Význam
<code>\textind{...}</code>	β_{\max}	<code>\$_\beta_\textind{max}\$</code>	textový index
<code>\const{...}</code>	U_{in}	<code>\$_\textconst{U}_\textind{in}\$</code>	konstantní veličina
<code>\var{...}</code>	u_{in}	<code>\$_\textvar{u}_\textind{in}\$</code>	proměnná veličina
<code>\complex{...}</code>	\textit{u}_{in}	<code>\$_\textcomplex{u}_\textind{in}\$</code>	komplexní veličina
<code>\vect{...}</code>	\mathbf{y}	<code>\$_\textvect{y}\$</code>	vektor
<code>\mat{...}</code>	\mathbf{Z}	<code>\$_\textmat{Z}\$</code>	matice
<code>\unit{...}</code>	kV	<code>\$_\textunit{kV}\$</code> či <code>\unit{kV}</code>	jednotka

A.2 Příkazy pro sazbu symbolů

- `\E`, `\eul` – sazba Eulerova čísla: e ,
- `\J`, `\jmag`, `\I`, `\imag` – sazba imaginární jednotky: j , i ,
- `\dif` – sazba diferenciálu: d ,
- `\sinc` – sazba funkce: sinc ,
- `\mikro` – sazba symbolu mikro stojatým písmem¹: μ ,
- `\uppi` – sazba symbolu π (stojaté řecké pí, na rozdíl od `\pi`, což sází π).

Všechny symboly jsou určeny pro matematický mód, vyjma `\mikro`, jenž je použitelný rovněž v textovém módu.

¹znak pochází z balíčku `textcomp`

B Druhá příloha

Pro sazbu vektorových obrázků přímo v \LaTeX u je možné doporučit balíček **TikZ**. Příklady sazby je možné najít na \TeX ample. Pro vyzkoušení je možné použít programy Q \Tikz nebo TikzEdt.

C Příklad sazby zdrojových kódů

C.1 Balíček listings

Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít balíček `listings`. Balíček zavádí nové prostředí `lstlisting` pro sazbu zdrojových kódů, jako například:

```
\section{Balíček lstlistings}
Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít
  balíček \href{https://www.ctan.org/pkg/listings}%
  {\texttt{listings}}.
Balíček zavádí nové prostředí \texttt{lstlisting} pro
  sazbu zdrojových kódů.
```

Podporuje množství programovacích jazyků. Kód k vysázení může být načítán přímo ze zdrojových souborů. Umožňuje vkládat čísla řádků nebo vypisovat jen vybrané úseky kódu. Např.:

Zkratky jsou sázeny v prostředí `acronym`:

```
6 \begin{acronym}[KolikMista]
```

Šířka textu volitelného parametru `KolikMista` udává šířku prvního sloupce se zkratkami. Proto by měla být zadávána nejdelší zkratka nebo symbol.

Výpis C.1: Ukázka sazby zkratek

Ukončení seznamu je provedeno ukončením prostředí:

```
26 %\acro{zkDummy}
27 % [KolikMista]
28 % {pouze ukázka vyhrazeného místa}
29
30 %\acro{symfvz} % název
31 % [\ensuremath{f_\text{vz}}] % symbol
32 % {vzorkovací kmitočet} % popis
33
34 \end{acronym}
```

Poznámka k výpisům s použitím volby jazyka `czech` nebo `slovak`:

Pokud Váš zdrojový kód obsahuje znak spojovníku `-`, pak překlad může skončit chybou. Ta je způsobená tím, že znak `-` je v českém nebo slovenském nastavení balíčku `babel` tzv. aktivním znakem. Přepněte znak `-` na neaktivní příkazem `\shorthandoff{-}` těsně před výpisem a hned za ním jej vraťte na aktivní příkazem `\shorthandon{-}`. Podobně jako to je ukázáno ve zdrojovém kódu šablony.

Na výpisu C.2 naleznete příklad kódu pro Matlab, na výpisu C.3 zase pro jazyk C.

Výpis C.2: Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab.

```
1 %% Příklad testování stability filtru
2
3 % koeficienty polynomu ve jmenovateli
4 a = [ 5, 11.2, 5.44, -0.384, -2.3552, -1.2288];
5 disp( 'Polynom:'); disp(poly2str( a, 'z'))
6
7 disp('Kontrola pomocí kořenů polynomu:');
8 zx = roots( a);
9 if( all( abs( zx) < 1))
10     disp('System je stabilní')
11 else
12     disp('System je nestabilní nebo na mezi stability');
13 end
14
15 disp(' '); disp('Kontrola pomocí Schur-Cohn:');
16 ma = zeros( length(a)-1,length(a));
17 ma(1,:) = a/a(1);
18 for( k = 1:length(a)-2)
19     aa = ma(k,1:end-k+1);
20     bb = fliplr( aa);
21     ma(k+1,1:end-k+1) = (aa-aa(end)*bb)/(1-aa(end)^2);
22 end
23
24 if( all( abs( diag( ma.'))))
25     disp('System je stabilní')
26 else
27     disp('System je nestabilní nebo na mezi stability');
28 end
```

Výpis C.3: Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C.

<i>// první kanonická forma</i>	1
<u>short</u> fxdf2t(<u>short</u> coef[][5], <u>short</u> sample)	2
{	3
<u>static int</u> v1[SECTIONS] = {0,0}, v2[SECTIONS] = {0,0};	4
<u>int</u> x, y, accu;	5
<u>short</u> k;	6
	7
x = sample;	8
<u>for</u> (k = 0; k < SECTIONS; k++){	9
accu = v1[k] >> 1;	10
y = _sadd(accu, _smpy(coef[k][0], x));	11
y = _sshl(y, 1) >> 16;	12
	13
accu = v2[k] >> 1;	14
accu = _sadd(accu, _smpy(coef[k][1], x));	15
accu = _sadd(accu, _smpy(coef[k][2], y));	16
v1[k] = _sshl(accu, 1);	17
	18
accu = _smpy(coef[k][3], x);	19
accu = _sadd(accu, _smpy(coef[k][4], y));	20
v2[k] = _sshl(accu, 1);	21
	22
x = y;	23
}	24
<u>return</u> (y);	25
}	26

D Obsah elektronické přílohy

Elektronická příloha je často nedílnou součástí semestrální nebo závěrečné práce. Vkládá se do informačního systému VUT v Brně ve vhodném formátu (ZIP, PDF ...).

Nezapomeňte uvést, co čtenář v této příloze najde. Je vhodné okomentovat obsah každého adresáře, specifikovat, který soubor obsahuje důležitá nastavení, který soubor je určen ke spuštění, uvést nastavení kompilátoru atd. Také je dobře napsat, v jaké verzi software byl kód testován (např. Matlab 2018b). Pokud bylo cílem práce vytvořit hardwarové zařízení, musí elektronická příloha obsahovat veškeré podklady pro výrobu (např. soubory s návrhem DPS v Eagle).

Pokud je souborů hodně a jsou organizovány ve více složkách, je možné pro výpis adresářové struktury použít balíček `dirtree`.

```
/ .....kořenový adresář přiloženého archivu
├── logo ..... loga školy a fakulty
│   ├── BUT_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── BUT_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEEC_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEKT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── VUT_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── VUT_symbol_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   └── VUT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
├── obrazky ..... ostatní obrázky
│   ├── soucastky.png
│   ├── spoje.png
│   ├── ZlepseneWilsonovoZrcadloNPN.png
│   └── ZlepseneWilsonovoZrcadloPNP.png
├── pdf ..... pdf stránky generované informačním systémem
│   ├── student-desky.pdf
│   ├── student-titulka.pdf
│   └── student-zadani.pdf
├── text ..... zdrojové textové soubory
│   ├── literatura.tex
│   ├── prilohy.tex
│   ├── reseni.tex
│   ├── uvod.tex
│   ├── vysledky.tex
│   ├── zaver.tex
│   └── zkratky.tex
├── sablona-obhaj.tex ..... hlavní soubor pro sazbu prezentace k obhajobě
├── sablona-prace.tex ..... hlavní soubor pro sazbu kvalifikační práce
└── thesis.sty ..... balíček pro sazbu kvalifikačních prací
```