VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2021 Jiří Marák

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

LABORATORNÍ VÝVOJOVÝ KIT PRO BEZDRÁTOVÉ SÍTĚ
LABORATORY DEVELOPMENT KIT FOR WIRELESS NETWORKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Jiří Marák**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Ondřej Krajsa, Ph.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2021

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Telekomunikační a informační systémy**

Ústav telekomunikací

Student: Jiří Marák ***ID:*** 195680
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Laboratorní vývojový kit pro bezdrátové sítě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte vývojový kit vhodný pro výuku bezdrátových senzorových sítí založených na technologiích IEEE 802.15.4, IEEE 802.3 a IEEE802.15.1. Připojení k PC a napájení bude realizováno rozhraním USB. Kit bude disponovat možností připojení rozšiřujících desek kompatibilních s Atmel Xplained.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu. Praha: BEN - technická literatura, 2010, 123 s. : il. ; 23 cm. ISBN 978-80-7300-266-4.

[2] VÁŇA, Vladimír. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesorů a instrukční soubor. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 335 s. ISBN 80-7300-083-0.

Termín zadání: 1.2.2021 ***Termín odevzdání:*** 31.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Krajsa, Ph.D.

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Cílem této práce je navrhnout a realizovat laboratorní vývojový kit pro výuku bezdrátových sítí založených na standardech IEEE 802.15, IEEE 802.15.1, IEEE 802.11, a obdobných technologií. Nejprve jsou v práci popsány bezdrátové technologie WPAN a WLAN. V další části se pak práce zabývá celkovým konceptem vývojového kitu a následným výběrem vhodných komponent, a nakonec návrhem vlastního vývojového kitu a návrhem desky plošných spojů v programu Autodesk Eagle.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vývojový kit, bezdrátové technologie, návrh DPS, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.1, IEEE 802.11, CC2652R, mikrokontrolér, SimpleLink

ABSTRACT

The aim of this work is to design and implement a laboratory development kit for teaching wireless networks based on IEEE 802.15, IEEE 802.15.1, IEEE 802.11 standards and similar technologies. First are described WPAN and WLAN wireless technologies. In the next part, the work deals with the overall concept of the development kit and the subsequent selection of suitable components, and finally the design of its own development kit and the design of the printed circuit board in the program Autodesk Eagle.

KEYWORDS

Development kit, wireless technology, PCB design, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.1, IEEE 802.11, CC2652R, microcontroller, SimpleLink

MARÁK, Jiří. *Laboratorní vývojový kit pro bezdrátové sítě*. Brno, 2021, 55 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: Ing. Ondřej Krajsa, Ph.D.

Vysázeno pomocí balíčku `thesis` verze 4.02; `http://latex.feec.vutbr.cz`

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Laboratorní vývojový kit pro bezdrátové sítě“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno ....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

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

Obsah

Úvod **15**

1 Bezdrátové sítě **17**
1.1 Bluetooth . . . 17
1.2 Wi-Fi . . . 17
1.3 Standart IEEE 802.15.4 . . . 18
1.3.1 ZigBee . . . 18
1.3.2 WirelessHART . . . 18
1.3.3 WIA-PA . . . 19

2 Návrh vývojového kitu **21**
2.1 Mikrokontrolér . . . 21
2.2 Napájení . . . 21
2.3 Anténa . . . 22
2.4 Senzory . . . 22
2.5 Vstupní periferie . . . 22
2.6 Výstupní periferie . . . 22
2.7 Výstupní piny . . . 23

3 Mikrokontrolér **25**
3.1 Microchip . . . 25
3.1.1 ATSAM R21G18A . . . 25
3.1.2 ATmega256RFR2 . . . 26
3.2 Texas Instruments . . . 26
3.2.1 CC1352R . . . 27
3.2.2 CC2652R . . . 27
3.3 Zhodnocení . . . 28
3.4 ESP32-WROOM . . . 29

4 Výběr komponent **31**
4.1 Rotační enkodér . . . 31
4.2 Expandér . . . 31
4.3 EEPROM . . . 31
4.4 Displej . . . 31
4.5 Bar graf . . . 31
4.6 Tlačítka a Potenciometr . . . 32
4.7 LED diody . . . 32
4.8 GPS . . . 32

4.9 Senzor světla . . . 32
4.10 Senzor teploty . . . 32
4.11 Senzor tlaku . . . 33
4.12 Gyroskop a akcelerometr . . . 33
4.13 H-můstek . . . 33
4.14 Anténa . . . 33
4.15 Spínaný zdroj . . . 33
4.16 Převodník logických úrovní . . . 34

5 Zapojení **35**
5.1 CC2652 . . . 35
5.2 Expandér MCP23017 . . . 35
5.3 ESP32 . . . 35
5.4 Převodník logických úrovní . . . 35

6 Návrh desky **39**

7 Programování kitu **41**
7.1 SimpleLink CC13x2 and CC26x2 SDK . . . 41
7.2 SimpleLink Academy . . . 41

Závěr **43**

Literatura **45**

Seznam symbolů, veličin a zkratek **47**

Seznam příloh **49**

A Navržená deska plošných spojů **51**

B Schéma zapojení MCU a periferií **53**

C Schéma zapojení periferií **55**

Seznam tabulek

3.1 Srovnání mikrokontrolérů Atmel 27
5.1 Zapojení pinů mikrokontroléru 36
5.2 Tabulka zapojení pinů na expandéru MCP23017 37

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem a realizací vhodného laboratorního vývojového kitu výuku bezdrátových technologií IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.1, IEEE 802.11 a obdobných technologií. Práce je rozdělena na kapitoly, které zahrnují jak teoretické části, jako je úvodní popis bezdrátových technologií nebo stanovení požadavků a celkové koncepce laboratorního výukového kitu, tak i praktické části. Ty jsou poté ještě rozděleny na několik částí. V teoretické části Bezdrátové technologie, jsou přiblíženy standardy sítí WLAN a WPAN, IEEE 802.11, IEEE 802.15.1 a IEEE 802.15.4 a na něm pracující a z něj vycházející standardy. V části Návrh vývojového kitu se práce zabývá stanovením celkového konceptu vývojového kitu. Jsou zde nastíněny požadavky, jaké by měl tento vývojový kit splňovat, jaké periferie by se měly na vývojovém kitu nacházet a v jaké prostředí bude kit pracovat. Následují kapitoly, které se zabývají výběrem mikrokontroléru a dalších komponent, kde jsou vybrány jednotlivé komponenty a periferie, které byly určeny pro vývojový kit v předchozí kapitole. Jednotlivé komponenty a periferie jsou zde popsány z hlediska jejich funkčnosti, případně z hlediska důvodu jejich výběru. U mikrokontroléru jsou popsány čtyři možní kandidáti, ze kterých je následně jeden vybrán. Následně je vytvořen návrh vývojového kitu a návrh desky plošných spojů. Ke konci práce jsou ještě krátce probrány možnosti programování tohoto kitu. Výsledkem této práce by měl být návrh vývojového laboratorního kitu a návrh desky plošných spojů.

1 Bezdrátové sítě

Tato část se zabývá popisem standardů pro bezdrátovou komunikaci pro sítě krátkého dosahu (WPAN) a bezdrátových sítí lokálního dosahu (WLAN). Ze sítí WPAN je kromě Bluetooth rozvinut je hlavně standard 802.15.4, který má být použit v navrhovaném laboratorním vývojovém kitu. Následně jsou popsány standardy které pracují nad tímto standardem jeko ZigBee nebo WirelessHART. Sítě WLAN jsou zastoupeny standardem 802.11.

Při návrhu bezdrátových aplikací je k dispozici několik možností standardů a protokolů od jednoduchých až po velmi složité. Nejznámějšími a nejstaršími patří Bluetooth a Wi-Fi. Patentovaný standard Z-Wave našel díru na trhu monitorování a kontroly domácností. Existují i další patentované standardy pro konkrétní aplikace, například WirelessHD pro přenos videa v pásmu 60 GHz. Mnoho z těchto patentovaných variant využívá bezlicenční pásma pod 1 GHz, včetně ovládání garážových vrat na 315 MHz, dálkových monitorů teploty na 433 MHz a sběru dat na 915 MHz. Rostoucí kategorií je mobilní konektivita pro aplikace typu machine-to-machine (M2M) a Internet of Things (IoT). Většina ostatních standardů používá některou variantu standardu 802.15.4.[1]

1.1 Bluetooth

Technologii Bluetooth, definované normou IEEE 802.15.1, se podařilo najít mezeru na trhu v audio prostoru s miliardami připojeních headsetů pro mobilní telefony, handsfree připojením v automobilech a bezdrátovými reproduktory. Novější verze s nízkou spotřebou nacházejí uplatnění ve zdravotnictví nebo sportovním či fitness světě pro mnoho aplikací pro monitorování fyzického stavu jednotlivce.

1.2 Wi-Fi

Technologie Wi-Fi, někdy nesprávně označována jako zkratka pro Wireless Fidelity, je zase oproti Bluetooth jedničkou na poli místních sítí (LAN) pro vysokorychlostní přístup k internetu pro notebooky, chytré telefony a tablety. Nové rychlejší verze jsou používány i ve smart televizorech pro přenos videa. Ve zjednodušené podobě lze Wi-Fi také použít v aplikacích pro sběr dat, dostupné jsou nyní i verze s nízkou spotřebou. Stejně jako Bluetooth pracuje v nelicencovaném pásmu 2,4 GHz a ve standardech 802.11a, 802.11n, 802.11ac a 802.11ax ještě v pásmu 5 GHz.

1.3 Standart IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 je technická norma definující rádiovou komunikaci pro sítě krátkého dosahu. Tato norma však definuje fyzickou a přístupovou vrstvu (MAC), která je subvstvou linkové vrstvy modelu OSI. Tato norma s ohledem na jednoduchost implementace a omezení spotřeby koncových zařízení, zajišťuje vysoce spolehlivý přenos, který je určen především pro komunikaci malou rychlostí v řádu desítek až stovek bitů za sekundu. Norma specifikuje na fyzické vrstvě komunikaci v bezlicenčním pásmech, nejrozšířenější je pásmo 2,4 GHz, dalšími jsou 868 MHz a 915 MHz v USA. Využívá techniku rozprostřeného spektra(DSSS a PSSS) a tři druhy modulace (QPSK, BPSK a ASK). Na linkové vrstvě je komunikace založena na CSMA-CA. Pro zvýšenou pravděpodobnost doručení lze použít ještě metodu ARQ. Standard 802.15.4 definuje tři druhy topologie, a to star, tree a mesh. [1]

1.3.1 ZigBee

Nejrozšířenější vylepšení standardu 802.15.4 je ZigBee, což je standard od ZigBee Alliance. Tato organizace udržuje, podporuje a vyvíjí sofistikovanější protokoly pro pokročilé aplikace. Zigbee používá třetí a čtvrtou vrstvu k definování dalších komunikačních funkcí. Mezi tato vylepšení patří ověřování pomocí platných uzlů, šifrování pro bezpečnost a schopnost směrování a předávání dat, díky nimž je možné vytvořit síť typu mesh. Nejpopulárnějším využitím ZigBee jsou sítě pro bezdrátové senzory využívající síťovou topologii mesh. Hlavní výhodou této topologie je možnost komunikace přes několik uzlů, pokud není v dosahu centrální koordinátor. [1]

1.3.2 WirelessHART

WirelessHART je bezdrátové rozšíření protokolu HART (Highway Addressable Remote Transducer), který byl vytvořen pro obousměrnou komunikaci mezi inteligentními komunikačními přístroji a nadřazeným řídicím systémem. Certifikaci produktů a vývoj zajišťuje organizace HCF (HART Communication Foundation). Ze standardu 802.15.4-2006 používá WirelessHART jen fyzickou vrstvu pro komunikaci v bezlicenčním pásmu 2,4GHz. Základní bezdrátová technologie je založena na protokolu TSMP (Time Synchronized Mesh Protocol) od filmy Dust Networks.

Co se týče architektury jsou ve WirelessHART tři druhy zařízení. Je to správce sítě, brána a přístroj. Samotný správce, který spravuje síť, směrovací tabulky a řídí komunikaci mezi zařízeními, není bezdrátové zařízení, ale je připojen do sítě pomocí brány. Pro komunikaci je médium rozděleno na časové sloty s pevně danou délkou 10 ms a pro tyto sloty se komunikační kanál mění podle pevně dané pseudonáhodné sekvence (Time Synchronized Channel Hopping). Pro spolehlivost přenosu kromě

střídání kanálů v rámci bezlicenčního pásma 2,4 GHz proti úzkopásmovému rušení, WirelessHART podporuje ještě vynechání kanálů, které jsou použity pro jiný účel nebo jsou zatíženy rušením, tzv. channel blacklisting. Pomocí metody CSMA-CA, vysílací zařízení před přístupem na kanál, ještě zkontroluje, zda je médium volné. Díky kombinaci těchto metod je dosaženo, oproti použití přístupové vrstvy IEEE 802.15.4, větší propustnosti a spolehlivosti přenosu.[2]

1.3.3 WIA-PA

Standartd WIA-PA (Wireless network for Industrial Automation – Process Automation) byl za účelem procesní automatizace vyvinut čínskou organizací CIWA (Chinese Industrial Wireless Alliance). Pod označením IEC/PAS 62601 byl v roce 2008 schválen jako veřejně přístupná specifikace IEC (International Electrotechnical Commission). Je založen na normě IEEE 802.15.4-2006 a využívá podobné principy jako třeba WirelessHART nebo ISA 100.11a, na rozdíl od nich si ale zachovává plnou kompatibilitu s normou IEEE 802.15.4.

Architektura protokolu WI-PA používá pět typů zařízení. Jedná se o nadřazený počítač, bránu, směrovač, provozní přístroj a přenosný přístroj. K nim patří ještě logická zařízení správce sítě a správce bezpečnosti. Jak již bylo zmíněno protokol používá na fyzické a linkové vrstvě standard 802.15.4, na linkové vrstvě doplňuje superframe režim vlastní linkovou podvrstvou. Koordinátor pravidelně vysílá beacon pro synchronizaci zařízení. IEEE 802.15.4 definuje aktivní a neaktivní části každého superframe. V aktivní části superframe pracuje fáze s náhodným přístupem (CAP) která využívá metody CSMA-CA k přístupu k médiu. V neaktivní část probíhá komunikace uvnitř clusteru, která používá kombinaci metod FDMA s přístupy CSMA a TDMA k médiu. Topologicky odpovídá síť normě 802.15.4, FFD zařízení mezi sebou tvoří síť mesh, kterou jsou propojeny jednotlivé clustery. [3]

2 Návrh vývojového kitu

Nejprve je nutné stanovit, jaké jsou požadavky na vlastnosti navrhovaného vývojového kitu. Důležité je také stanovit prostředí kde bude kit pracovat. Výsledkem by měl být laboratorní vývojový kit, který bude obsahovat nejpoužívanější součástky, moduly a periferie. Všechno bude na jedné desce bez nutnosti zapojovat obvod, nebo něco pájet. Prostředí, ve kterém bude tento kit pracovat je, jak již název práce napovídá, laboratorní učebna. Výhodou vývojového kitu pro laboratorní výuku je skutečnost, že se v návrhu nemusí řešit externí napájení, jakou spotřebu bude výsledný laboratorní kit mít nebo řešit ochranu vývojového kitu před prachem, nečistotami či kapalinami. Naopak je zase nutné při návrhu vývojového kitu pamatovat na častou častou manipulaci s kitem v laboratoři a s tím spojené nebezpečí poškození součástek, pinů nebo portů. Dále by bylo vhodné opatřit kit na spodní straně přístrojovými nožičkami, aby bylo zabráněno pohybu po pracovní desce stolu.

Jelikož se jedná o laboratorní vývojový kit pro výuku bezdrátových technologií jako IEEE 802.15.4, 802.15.1 nebo 802.11, měl by kit samozřejmě tyto standardy podporovat. Dále by měl obsahovat mikrokontrolér, který bude vše řídit. Na vývojovém kitu bude množství vstupních a výstupních periferií a senzorů, aby si bylo možné v rámci laboratorní výuky vyzkoušet různé typy periferií a senzorů a práci s nimi. Pokud by integrované periferie nestačily, nebo by bylo potřeba připojit další zařízení, ať už analogově či digitálně, budou zde nachystány další připojovací piny, konkrétně by se mělo jednat o takové, aby na ně bylo možné připojit moduly Atmel Xplained.

2.1 Mikrokontrolér

Srdcem kitu bude mikrokontrolér (MCU – tedy microcontroller unit), jednočipový počítač, který bude řídit všechny periferie a uživatel na něj bude nahrávat programy. Na mikrokontrolér jsou požadavky na dostatečný počet vstupních a výstupních, ale také komunikačních pinů pro připojení všech periferií. S tím souvisí i dostupnost knihoven na tento mikrokontrolér pro jednotlivé periferie, aby bylo možno na tento kit v rámci výuky tvořit programy. To znamená dobrou uživatelskou komunitu a vhodné softwarové nástroje. Klíčová je i podpora standartu IEEE 802.15.4, 802.15.1 nebo 802.11.

2.2 Napájení

Napájení navrhovaného kitu bude řešeno pomocí sběrnice USB, připojené například z počítače. Jak již bylo v úvodu této kapitoly zmíněno, externí napájení nebo baterie

není potřeba řešit, jelikož je kit určen pro laboratorní výuku. Jelikož mikrokontroléry, které by byli vhodné pro tento vývojový kit, mají logickou úroveň i napájecí napětí o velikosti 3,3 V, je potřeba napájecí napětí z USB 5 V usměrněnit přes spínaný zdroj na napětí 3,3 V, kterým bude napájen mikrokontrolér i všechny připojené periferie. Pokud budou periferie vyžadovat napájení 5 V, bude použito neusměrněné napětí z USB.

2.3 Anténa

Vysokofrekvenční část (nebo také RF – Radio Frequency) bude na vývojovém kitu řešena dvěma způsoby. Na desce bude připájena jednak integrovaná anténa, tak je také počítáno s možností připojení externí antény. To bude řešeno pomocí SMA konektoru umístěného na desku kitu. Poté je potřeba ještě signály z antén připojit přes symetrizační člen.

2.4 Senzory

Laboratorní vývojový kit by měl samozřejmě obsahovat také základní senzory fyzikálních veličin. Tyto senzory nemusí být mimořádně přesné, jelikož se nejedná o senzory pro důležitá přesná měření, ale pro edukační potřeby, kde například rozdíl pár stupňů Celsia při měření teploty nehraje roli. Zvoleny jsou tedy senzory tlaku, světla a pro měření teploty. K těmto senzorům ještě přibude a gyroskop a akcelerometr, který bude měřit třeba náklon kitu či jeho polohu vůči Zemi.

2.5 Vstupní periferie

Pro přímou interakci uživatele s vývojovým kitem je potřeba na desku umístit také tento typ vstupních zařízení. Pro tento účel byl zvolen rotační enkodér, potenciometr a sada tlačítek.

2.6 Výstupní periferie

Kromě vstupních periferií by měl vývojový kit mít také nějaké výstupní periferie. Za tímto účelem jsou zvoleny zobrazovací prvky. Konkrétně by se mělo jednat o displej a LED diody. Co se týče displeje bude vybrán OLED displej, který je schopen zobrazovat jak čísla a písmena, tak jednoduchou grafiku. Dále by zde, kromě klasických LED diod měl být i bar graf displej.

2.7 Výstupní piny

Výstupní piny budou vyvedeny na standardizovaný konektor, na který bude možné připojit rozšiřující desky Atmel Xplained.

Xplained je rychlá prototypová a vyhodnocovací platforma pro mikrokontroléry založené na AVR a ARM. Tyto levné a snadno použitelné vyhodnocovací soupravy jsou ideální pro demonstraci funkcí a schopností mikrokontrolérů a lze je přizpůsobit pomocí široké škály rozšiřujících desek. Vývoj je snadný díky bohatému výběru ukázkových projektů a ovladačů kódů poskytovaných v Advanced Software Framework (ASF), stejně tak v Atmel Studio a v integrovaných vývojových prostředích třetích stran.

3 Mikrokontrolér

Vzhledem k tomu, že výběr mikrokontroléru je složitější a od něj se odvíjí i volba dalších komponent, je této části věnována samostatná kapitola. V této kapitole jsou popsány na trhu dostupné mikrokontroléry, které splňující požadavky pro implementaci v tomto laboratorním vývojovém kitu. Je provedeno srovnání jejich klíčových parametrů, jako velikost pamětí Flash, EEPROM, počet pinů, podpora dalších komunikačních protokolů, Mikrokontrolér by měl samozřejmě podporovat alespoň komunikační standart 802.15.4, případně další standarty, jako 802.15.1 a 802.11, měl by zvládat ovládat všechny požadované funkce laboratorního vývojového kitu a měl by mít dostatek pinů pro všechny periferie. Taktéž by měla být k dispozici dostatečně velká vnitřní paměť pro náročnější programy. Na trhu je množství mikrokontrolérů, namátkou třeba ESP32, STM32 nebo rodina AVR mikrokontrolérů od Microchip. Některé jsou více či méně výkonné, či mají důraz na nízkou spotřebu, nebo podporují různé komunikační protokoly. Nakonec byli do užšího srovnání vybrány mikrokontroléry od firem Texas Instruments a Microchip. Veškerá data jsou čerpána z katalogových listů daných mikrokontrolérů.

3.1 Microchip

Porovnávané mikrokontroléry jsou původně od americké firmy Atmel. Tu v roce 2016 koupila další americká firma Microchip Technology. Z na trhu nabízených produktu jsou pro účely bezdrátového laboratorního kitu vhodné jednak mikrokontroléry z 32-bitové rodiny SAMR21, a jednak z 8-bitové rodiny ATmega. Protože se jedná o různé modelové řady mikrokontrolérů, tak jsou pro lepší přehlednost vybrané parametry porovnány v tabulce 3.1.

3.1.1 ATSAM R21G18A

Atmel SMART SAM R21 je řada nízkoenergetických mikrokontrolérů využívajících 32-bitový procesor ARM Cortex-M0 + a integrovaný vysílač/přijímač pro pásmo ISM 2,4 GHz. Zařízení SAM R21 jsou vyráběny v 32 a 48 pinových verzích, s až 256 kB Flash, 32 kB SRAM a pracují na maximální frekvenci až 48 MHz. Tyto mikrokontroléry jsou navrženy pro jednoduchou a intuitivní migraci pomocí identických modulů, hex kompatibilního kódu, identických lineárních adresových map a pinově kompatibilních migračních cest mezi všemi zařízeními patřícími do této produktové řady. Všechna zařízení obsahují inteligentní a flexibilní periferie, systém pro události Event System pro signalizaci mezi periferiemi a podporují kapacitní dotykové tlačítka, přepínací nebo otočné uživatelské rozhraní. Atmel SAM R21 poskytuje mnoho

funkcí, jako komparátory, komunikační sběrnice I^2C, SPI, UART, LIN, 16-bitové časovače/čítače, 32-bitový časovač reálného času s funkcí hodin a kalendáře, CRC-32 generátor a mnoho dalších funkcí. Každý pin je standardně nastaven jako vstupně výstupní pin a podle potřeby mu lze, pomocí PORTU, přiřadit jednu z až osmi periferních funkcí. Porovnávaný model ATSAM R21G18 má 48 pinů, z toho 28 vstupně výstupních, a 256 kB Flash paměť.

3.1.2 ATmega256RFR2

Jedná se o 8-bitový mikrokontrolér CMOS s nízkou spotřebou, založený na vylepšená AVR architektuře RISC v kombinaci s vysílačem/přijímačem s vysokou rychlostí přenosu pro bezlicenční pásmo 2.4 GHz. Rádiový vysílač poskytuje vysokou přenosovou rychlost od 250 kb/s až do 2 Mb/s, ovládání rámců, vynikající citlivost přijímače a vysoký výstupní vysílací výkon umožňující a velmi robustní bezdrátovou komunikaci. Tento mikrokontrolér v základu podporuje standard 802.15.4 bez potřeby dalšího externího modulu, tím splňuje jeden z hlavních požadavků. Nespornou výhodou tohoto mikrokontroléru je velká uživatelská komunita, díky níž jsou k dispozici například různé knihovny pro periferie. Mikrokontrolér má celkem 64 pinů, z toho 28 je vstupně výstupních. Má vnitřní programovatelnou paměť Flash o velikosti 256 kB. Co se týče zabezpečení, ATmega256RFR2 podporuje 128-bitové AES šifrování. Pro připojení periferií jsou k dispozici rozhraní I^2C, SPI, UART, JTAG.

3.2 Texas Instruments

Společnost Texas Instruments nabízí hned několik mikrokontrolérů pro bezdrátové technologie. Jednak to jsou mikrokontroléry pro jednotlivé komunikační protokoly jako Wi-Fi, Bluetooth, Sub-1Ghz, ZigBee, tak jsou to víceprotokolové mikrokontroléry, které podporují komunikaci dvou a více protokolů, například Bluetooth společně s Wi-fi apod. Jsou tři různá provedení víceprotokolových mikrokontrolérů, buď pomocí dvou čipů se společnou RF částí, nebo přepínání mezi protokoly softwarovou vrstvouna jednom čipu a nebo více protokolů, kterým softwarová vrstva umožňuje koexistovat na jednom čipu. Pro navrhovanou desku jsou vhodné poslední jmenované. Jsou to mikrokontroléry z platformy Simplelink.

Platforma SimpleLink nabízí nejširší portfolio diferencovaných drátových a bezdrátových ARM mikrokontrolérů s Ethernetem, Bluetooth Low Energy, Wi-Fi, Sub-1 GHz se Zigbee a Thread - vše sjednocené jedinou robustní softwarovou architekturou se 100% přenositelností aplikačního kódu, modulárními vývojovými kity a cloudovými nástroji. Flexibilita platformy SimpleLink pomáhá výrobcům rychle vyvinout a bezproblémově znovu použít zdroje k rozšíření jejich portfolia připojených

Tab. 3.1: Srovnání mikrokontrolérů Atmel

parametry	ATmega256RF	ATSAMR21G18A
procesor	8-bitový	32-bitový
SRAM	32kB	32kB
max. frekvence	16 MHz	48Mhz
jádro	AVR	ARM Cortex M0+
počet pinů	64	48
Flash	256kB	256kB
Rozhraní	USART, UART, SPI,I2C	USART, UART, SPI,I2C
vysílací výkon [dBm]	3	4
vstupně výstupní piny	28	28
vstupní citlivost [mVpp]	-100	-99
Rx vstupní citlivost [dB]	-100	-99
rozsah provozního napětí	1.8 to 3.6	1.8 to 3.6
krypto engine	AES-128	AES-128
EEPROM	8192	16384
časovače	6	6

produktů. Konkrétně budou blíže popsané mikrokontroléry z produktové řady Simplelink CC1352R a CC2652R.

3.2.1 CC1352R

Mikrokontrolér CC1352R je nejenom víceprotokolový ale také vícepásmový, protože kromě pásma 2,4 GHz podporuje ještě pásmo 1 GHz. Podporuje tedy celou řadu protokolů jako Thread, Zigbee, Bluetooth 5.2 Low Energy, IEEE 802.15.4g, smart zařízení s podporou IPv6(6LoWPAN), MIOTY, Wi-SUN, proprietární systémy, včetně TI 15,4-Stack (Sub-1 GHz a 2,4 GHz). Podporuje také souběh více protokolů prostřednictvím ovladače Dynamic Multiprotocol Manager (DMM). Zařízení je optimalizováno pro bezdrátovou komunikaci s nízkou spotřebou a pro pokročilé snímání v bezpečnostních systémech budov, HVAC, inteligentní měřiče, lékařské prostředí, kabelové sítě, přenosovou elektroniku, domácí kino a zábavu a další použití. Mikrokontrolér mimo jiné umožňuje komunikovat přes rozhraní I^2C, I^2S, SPI, UART, JTAG, cJTAG, a šifrování SHA2, RSA, 128 nebo 256 bitové AES.

3.2.2 CC2652R

CC2652R SimpleLink je bezdrátový 2,4 GHz víceprotokolový mikrokontrolér. Tento mikrokontrolér je zaměřen hlavně na Thread, Zigbee, Bluetooth 5 Low Energy, IEEE

802.15.4g, smart zařízení s podporou IPv6 (6LoWPAN), Wi-SUN a proprietární systémy, včetně TI 15.4-Stack. Kromě standardu 802.15.4 podporuje také standart 802.15.1 Jak již bylo psáno výše, mikrokontrolér CC2652R je součástí platformy SimpleLink, to je řada nízko-nákladových, efektivních, vysokofrekvenčních zařízení s ultra nízkým výkonem, pro pásma 2,4 GHz a Sub-1 GHz. Zařízení CC2652R kombinuje flexibilní vysokofrekvenční transceiver s velmi nízkou spotřebou a výkonným 48MHz procesorem Arm Cortex-M4F v platformě podporující více fyzických vrstev a vysokofrekvenčních standardů. Speciální rádiový ovladač (Arm Cortex-M0) zpracovává příkazy nízkoúrovňového protokolu RF, které jsou uloženy v paměti ROM nebo RAM, a zajišťuje tak extrémně nízký příkon a velkou flexibilitu. Nízká spotřeba energie zařízení CC2652R není uzpůsobena na úkor vysokofrekvenčního výkonu, mikrokontrolér CC2652R má vynikající citlivost a robustnost (selektivitu a blokování). Flexibilní rádio CC2652R umožňuje souběžný časově multiplexovaný provoz s více protokoly prostřednictvím ovladače Dynamic Multi-Protocol Manager (DMM). Mikrokontrolér tak CC2652R zahrnuje v jednom čipu kompletní vysokofrekvenční systém, převodník DC/DC, komparátory časovač reálného času. Zabezpečení je možné realizovat pomocí SHA2, RSA nebo AES s délkou klíče 128 nebo 256 bitů. Z komunikačních rozhraní podporuje I^2C, I^2S, SPI, UART, JTAG, cJTAG.

3.3 Zhodnocení

Cenově jsou na tom všechny výše popsané mikrokontroléry zhruba stejně, ceny se pohybují mezi 100 až 150 Kč za kus. Z mikrokontrolérů od Microchipu vychází lépe výkonnější SAM R21G. Mikrokontroléry od Texas Instruments jsou za stejné produktové řady a jsou v podstatě totožné. Rozdíly jsou v podpoře protokolů, CC1352R jich podporuje více než CC2652R. Jedná se spíše o protokoly pro průmyslové využití, základní protokoly standardů IEEE 802.15.4, 802.15.1 nebo 802.11 podporují oba, proto budou pro vývojový kit postačovat protokoly podporované mikrokontrolérem CC2652R.

Oba mikrokontroléry, CC2652R od Texas Instruments a SAM R21G od Microchipu, jsou si v mnoha parametrech velmi podobné. Oba jsou 32-bitové, CC2652R byl vybrán hlavně díky většímu počtu použitelných vstupně výstupních pinů, 31 pinů u CC2652R, proti 28 pinům u SAM R21G, a jejich modulárnosti, kdy je možné si softwarově navolit funkce jednotlivých pinů. To je výhodné pro výstupní piny, kam lze přivést libovolné vstupně výstupní piny z mikrokontroléru a až podle konkrétního externího modulu nastavit funkce těchto pinů. Další výhodou je také dobré podpůrné pracovní prostředí SimpleLink CC13x2 and CC26x2 SDK a výukový program SilmpleLink Academy, které budou přiblíženy v následujících kapitolách. Oproti konkurenčnímu mikrokontroléru od Microchipu také podporuje více komunikačních

standardů. CC2652R má také lepší možnosti v zabezpečení, ať už možností zvolit si jiné metody zabezpečení nebo prostřednictvím větší, 256 bitové délky klíče pro AES, SAM R21G má pouze 128 bitovou. Jedinou nevýhodou všech vybraného mikrokontroléru je absence podpory standardu 802.11, proto musel být přidán ještě modul pro komunikaci v tomto standardu.

3.4 ESP32-WROOM

Jelikož nakonec zvolený mikrokontrolér podporuje pouze komunikační protokoly pro 802.15.4 a Bluetooth Low energy, bylo potřeba přidat ještě modul pro komunikaci ve standardu 802.11. Možnosti byli dvě, a to buď použít externí modul, který by se připojil na výstupní piny, nebo modul umístit přímo na desku. U první možnosti by však mohl nastat problém, pokud by bylo potřeba používat standart Wi-Fi a ještě připojit další externí modul. Proto z důvodu ušetření místa na výstupních pinech desky byla zvolena druhá varianta, a tedy umístit modul přímo na desku. Zvolen byl osvědčený modul ESP32. Modul pracuje na stejné 3,3 V logické úrovni, tudíž odpadá potřeba převodníků logických úrovní mezi vlastními mikrokontroléry. Modul má integrovanou vlastní anténu a kromě požadované podpory standardu 802.11 ještě podporuje Bluetooth, a to jak klasický, tak Low Energy. Samotný modul je vlastně řízen 32-bitovým mikrokontrolérem ESP32 s integrovaným 40 MHz krystalem, 520 kB SRAM, 4 MB Flash.

4 Výběr komponent

V této kapitole je popsán výběr jednotlivých komponent pro návrh laboratorního vývojového kitu. Podle požadavků stanovených v předchozí kapitole byly vybrány vhodné komponenty. U výběru nebylo rozhodující pouze to, zda odpovídají požadavků, ale svou roli hraje samozřejmě také cena a dostupnost jednotlivých komponent. Proto někde musel být zvolen kompromis.

4.1 Rotační enkodér

Zvolen byl rotační enkodér od firmy Bourns, kromě klasické funkce otáčení funguje hřídel tohoto enkodéru ještě jako tlačítko. Všechny výstupy z enkodéru jsou přivedeny na porty mikrokontroléru

4.2 Expandér

Z důvodu menšího počtu vstupně výstupních (I/O) pinů na mikrokontroléru, než bylo potřeba pro připojení všech periferií, bylo rozhodnuto zvětšit počet pinů pomocí I/O expandéru, který bude s mikrokontrolérem spojen pomocí I^2C sběrnice. Použit je model MCP23017 od firmy Microchip.

4.3 EEPROM

Externí paměť, která bude sloužit k vyzkoušení si práce s externí EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), bude ovládána pomocí mikrokontroléru. Byla zvolena paměť 24AA08-I/MS od firmy Microchip s kapacitou 8 kb a taktovací frekvencí 400 kHz. Připojená bude pomocí sběrnice I^2C na mikrokontrolér.

4.4 Displej

Jak již bylo v předchozí kapitole zmíněno, pro displej byl zvolen typ OLED, konkrétně model REX012864LYAP3N00000 od firmy RAYSTAR OPTRONICS. Rozlišení displeje je 128x64 pixelů. Připojen bude sběrnicí I^2C.

4.5 Bar graf

Zvolen byl bar graf displej typ OSX10201 od firmy OPTOSUPPLY. Displej má deset sloupců, šest zelených a tři červené. Jelikož by přímé připojení na mikrokontrolér

zabralo deset portů, bylo rozhodnuto použít 16-bitový I/O expander, který rozšíří vstupní/výstupní porty o dalších 16, připojením na I^2C sběrnici.

4.6 Tlačítka a Potenciometr

Pro interakci s uživatelem jsou na kitu umístěna tři tlačítka. Připojena jsou na 16-bitový I/O expander. Potenciometr byl zvolen axiální, jedno-otáčkový, s odporem 10 kΩ. Mimo výše uvedených tlačítek pro uživatelskou interakci je na desce umístěno také tlačítko pro reset mikrokontroléru, které je přivedeno na resetovací vstup mikrokontroléru.

4.7 LED diody

Zvoleny byly LED diody dvou druhů. Prvním druhem jsou to klasické LED umístěné samostatně, jedna pro indikaci napájení a práci procesoru a další dvě připojené k mikrokontroléru . Potom byl na desce umístěn LED čip RGB WS2812B od firmy Worldsemi, jehož rozsvícení a barvy bude nastavovat uživatel pomocí programu nahraného do mikrokontroléru.

4.8 GPS

Senzor GPS byl nakonec, hlavně kvůli ceně, vybrán ve verzi externího modulu, který se bude k ývojovému kitu připojovat přes výstupní piny, pomocí SPI nebo I^2C sběrnice.

4.9 Senzor světla

Pro senzor světla byl vybrán jednoduchý miniaturní čip APDS-9008-020, s analogovým výstupem od firmy Broadcom. Analogový výstup bude připojen na mikrokontrolér.

4.10 Senzor teploty

Na měření teploty byl vybrán digitální senzor TCN75AVOA od firmy Microchip. Je schopen měřit teplotu v rozmezí -40°C až 120°C s přesností 1°C, což pro výukové potřeby bohatě dostačuje. Senzor teploty je k mikrokontroléru připojen sběrnicí I^2C.

4.11 Senzor tlaku

Pro měření tlaku je použit senzor MS5637-02BA03 od firmy TE Connectivity, s nízkým odběrem proudu. Digitální senzor barometrického tlaku pracuje v rozsahu 300 až 1200mbar. K mikrokontroléru je opět připojen sběrnicí I^2C.

4.12 Gyroskop a akcelerometr

Zvolený čip LSM6DSMTR od firmy STMicroelectronics, s vysokým výkonem a současně nízkou spotřebou, v sobě ukrývá 3D digitální gyroskop a 3D digitální akcelerometr. Čip je připojen pomocí sběrnice I^2C.

4.13 H-můstek

Vybrán byl produkt firmy Texas Instruments DRV8876 s integrovaným měřením odběru proudu. Ovládací porty, stejně jako analogový výstup z měření odběru proudu, jsou připojeny na piny mikrokontroléru.

4.14 Anténa

Jak již bylo zmíněno u antény bude na výběr mezi integrovanou a externí. Integrovaná anténa pro práci v pásmu 2,4 až 2,5 GHz je model 2450AT18D0100E od firmy Johanson technology, pro externí anténu je na desku usazen SMA konektor. Výstupy z antén jsou na RF piny mikrokontroléru připojeny přes 2,4GHz balun 2450BM14G0011T taktéž od firmy Johanson technology, vestavěným pásmovým filtrem FCC / ETSI, určený přímo pro mikrokontroléry řady CC26XX od Texas Instruments .

4.15 Spínaný zdroj

Na regulaci 5 V napájecího napětí z USB na 3,3 V byl zvolen spínaný zdroj s nízkým úbytkem napětí SPX3819M5-L-3-3 od firmy MaxLinear. Za něj je ještě umístěn čip MAX40016 od firmy Maxim Integrated, který měří odběr proudu a výstup tohoto měření je připojen jako další vstup na mikrokontrolér.

4.16 Převodník logických úrovní

Aby bylo možné na výstupní piny připojovat nejenom moduly s 3,3V logikou, ale také s 5V, byl mezi mikrokontrolér a výstupní piny implementován převodník logických úrovní.

5 Zapojení

5.1 CC2652

Tato kapitola se zabývá zapojením jednotlivých pinů mikrokontroléru. Velkou výhodou nakonec vybraného mikrokontroléru je, že všechny vstupně-výstupní piny jsou programovatelné a nejsou pevně dány, tudíž lze různé periferie zapojit na libovolné piny a až programově jim přiřadit danou funkci. Jediné, na co je potřeba dát si pozor, je zapojení analogových vstupů a výstupů, protože ne všechny vstupně-výstupní piny podporují, kromě digitálních, také analogové vstupy nebo výstupy. Ty podporují pouze piny označené DIO_23 až DIO_30. Proto jsou na tyto vstupní piny zapojeny výstupy z potenciometru, měření proudu a senzoru osvětlení, které jsou analogové. Ostatní volné analogové piny z mikrokontroléru jsou zapojeny na výstupní piny pro případ potřeby analogových pinů pro připojené externí moduly. Pro připojení periferií byla, z důvodu ušetření pinů, vybrána sběrnice I^2C. Tato sběrnice potřebuje pouze dva piny pro signály SCL (Synchronous Clock) a SDA (Synchronous Data). Výhodou je také podpora pro připojení touto sběrnicí u všech zvolených periferií. Připojení všech pinů mikrokontroléru je v tabulce 5.1.

5.2 Expandér MCP23017

Expandér MCP23016 je stejně jako všechny ostatní periferie připojen pomocí sběrnice I^2C s mikrokontrolérem. Z expandéru je pak napojen bar graf displej, na pinech GP0.0-GP0.7 a na GP1.0 a GP1.1. Zbytek pinů je připojen na výstupní piny pro připojení externích modulů. Přiřazení jednotlivých pinů na periferie je opět sepsáno do tabulky 5.2.

5.3 ESP32

Modul ESP32 je s hlavním mikrokontrolérem připojen sběrnicí I^2C, dále jsou na mikrokontrolér přivedeny signály Rx a Tx. Zapnutí a vypnutí tohoto modulu se provádí přepojením jumperu.

5.4 Převodník logických úrovní

Převodník logických úrovní je zapojen mezi mikrokontrolér a výstupní piny. Pro výběr výstupu mezi 3,3V a 5V logikou se provádí opět pomocí jumperu.

Tab. 5.1: Zapojení pinů mikrokontroléru

číslo pinu	označení pinu	připojeno	č. pinu	označení pinu	připojeno
1	RF_P	RFP	25	JTAG TCK	JTAG TCK
2	RF_N	RFN	26	MCP23016	JTAG TDO
3	X32K_Q1	krystal 32kHz	27	DIO_17	JTAG TDI
4	X32K_Q2	krystal 32kHz	28	DIO_18	tlačítko1
5	DIO_0	měření proudu	29	DIO_19	tlačítko2
6	DIO_1	rot. enkodér	30	DIO_20	tlačítko3
7	DIO_2	rot. enkodér	31	DIO_21	vlhkost alert
8	DIO_3	rot. enkodér	32	DIO_22	vlhkost reset/INT
9	DIO_4	teplota alert	33	DCDC	VDDR
10	DIO_5	LED5	34	VDDS_DCDC	3V3
11	DIO_6	výstupní pin	35	RESET	RESET
12	DIO_7	výstupní pin	36	DIO_23	potenciometr
13	VDDS2	VDDS2	37	DIO_24	senzor osvětlení
14	DIO_8	SCL	38	DIO_25	H-můstek proud
15	DIO_9	SDA	39	DIO_26	výstupní pin
16	DIO_10	Rx	40	DIO_27	výstupní pin
17	DIO_11	Tx	41	DIO_28	výstupní pin
18	DIO_12	H-můstek	42	DIO_29	výstupní pin
19	DIO_13	H-můstek	43	DIO_30	výstupní pin
20	DIO_14	LED2	44	VDDS	3V3
21	DIO_15	LED3	45	VDDR	DCDC
22	VDDS3	VDDS3	46	X48M_N	krystal 48MHz
23	DC couple	DC couple	47	X48M_P	krystal 48MHz
24	JTAG TMS	JTAG TMS	48	VDDR	DCDC

Tab. 5.2: Tabulka zapojení pinů na expandéru MCP23017

číslo pinu	označení	zapojeno	číslo pinu	označení	zapojeno
1	GPB0	PB1	15	A0	GND
2	GPB1	PB3	16	A1	GND
3	GPB2	PG0	17	A2	GND
4	GPB3	PD5	18	RESET	-
5	GPB4	PE2	19	INTA	DIO_22
6	GPB5	PE3	20	INTB	DIO_22
7	GPB6	Bar graf	21	GPA0	Bar graf
8	GPB7	Bar graf	22	GPA1	Bar graf
9	VDD	3V3	23	GPA2	Bar graf
10	VSS	GND	24	GPA3	Bar graf
11	NC	-	25	GPA4	Bar graf
12	SCK	SCL	26	GPA5	Bar graf
13	SDA	SDA	27	GPA6	Bar graf
14	NC	-	28	GPA7	Bar graf

6 Návrh desky

Návrh desky plošných spojů byl vytvářen v programu Autodesk Eagle. Jakmile byly vybrány všechny komponenty, bylo přistoupeno samotnému návrhu schématu zapojení. Následně byl z tohoto schématu vytvořen návrh desky plošných spojů. Deska je rozvržena tak, aby všechny všechny periferie, se kterými bude bude uživatel pracovat, například tlačítka nebo rotační enkodér, byly dobře přístupné a navzájem si v rámci užívání nepřekážely. Výstupní zobrazovací periferie jsou zase umístěny pospolu, aby na ně bylo dobře vidět. Kolem antény pro vysokofrekvenční část nejsou umístěny žádné součástky, aby nedocházelo k rušení signálu.

Oba návrhy, schéma zapojení a návrh desky plošných spojů, jsou přiloženy k práci.

7 Programování kitu

Mikrokontrolér na navrženém laboratorním vývojovém kit pro výuku bezdrátových technologií se bude programovat pomocí rozhraní Join Test Action Group (JTAG). JTAG Rozhraní bude přivedené na výstupní piny standardizovaného konektoru a je na desce plošných spojů umístěno poblíž samotného mikrokontroléru.

7.1 SimpleLink CC13x2 and CC26x2 SDK

Společnost Texas Instruments poskytuje pro programování, debug a testování specializovaný software SimpleLink CC13x2 and CC26x2 software development kit (SDK). Softwarová vývojová sada (Software Development Kit – SDK) SimpleLink CC13x2_26x2 poskytuje součásti, které umožňují konstruktérům vyvíjet aplikace na bezdrátových mikrokontrolérech Texas Instruments řady SimpleLink CC13x2 a CC26x2. Tato softwarová sada nástrojů poskytuje soudržný a konzistentní softwarové prostředí pro všechny uživatele bezdrátových mikrokontrolérů produktové řady SimpleLink CC13x2 a CC26x2 obsahující základní softwarové komponenty, jako jsou protokolové balíčky pro Bluetooth low energy (BLE) podporující Bluetooth 5, balíček Thread 1.1 založený na OpenThread, sada protokolů pro ZigBee 3.0, příklady pro proprietární RF, TI 15.4 Stack, stejně jako jádro TI-RTOS a TI ovladače v jednom snadno použitelném softwarovém balení spolu s ukázkovými aplikacemi a dokumentací. Kromě toho, softwarová součást Dynamic Multi-Protocol Manager (DMM) navíc umožňuje víceprotokolový vývoj na jednom bezdrátovém mikrokontrolérů SimpleLink prostřednictvím TDM. Portfolio SimpleLink nabízí jedinečné vývojové prostředí, jenž poskytuje zákazníkům, kteří vyvíjejí drátové a bezdrátové aplikace, flexibilní možnosti hardwaru, softwaru a nástrojů. Díky stoprocentnímu opětovnému použití kódu napříč mikrokontroléry s Wi-Fi, Bluetooth low energy, Sub-1 GHz a dalšími technologiemi, lze vybrat takové řešení včetně mikrokontroléru či komunikačnímu standardu, které bude odpovídat požadovanému návrhu.[4]

7.2 SimpleLink Academy

Pro výuku programování poskytuje Texas Instruments skvělý výukový program SimpleLink Academy. SimpleLink Academy poskytuje pro pokrytí všech fází vývoje od jednoduchých příkladů po pokročilá témata. Poskytuje komplexní a interaktivní výukové prostředí pro portfolio bezdrátových mikrokontrolérů, založených na procesoru SimpleLink Arm Cortex-M, a pro jejich odpovídající softwarové vývojové sady.

SimpleLink Academy je vytvořeno pro širokou škálu témat pro všechny mikrokontroléry z řady SimpleLink. Jednotlivé školicí moduly SimpleLink Academy poskytují podrobné základní informace o každém tématu spolu s interaktivními kvízy a programovacími cvičeními. Pomocí vlastního tematického a praktického tréninkového přístupu lze uživatelům poskytnout holistický pohled na platformu SimpleLink MCU. Pokrývají mnoho témat v rámci platformy SimpleLink, včetně TI real-time OS (RTOS), API ovladačů a konektivity. Moduly jsou čtvrtletně aktualizovány, aby odpovídaly nejnovějším verzím SimpleLink SDK. Každá laboratorní úloha má sekci předpoklady, kde je popsáno, jaký materiál by měl uživatel znát, pokud se chce touto laboratorní úlohou zabývat. Dále je vypsán potřebný hardware a doporučená četba teorie. Pak už je v jednotlivých krocích probrána daná laboratorní úloha s pomocí názorných obrázků a podrobného popisu.

Pro CC13x2/CC26x2 SDK je k dispozici sada CC13x2/CC26x2 SDK obsahující laboratorní úlohy s příklady pro technologie Bluetooth, TI BLE5-Stack, TI-OpenThread Stack, TI 15.4-Stack a TI Z-Stack, proprietární RF, Zigbee nebo RTOS, které jsou používány při vývoji bezdrátových aplikací.[5]

Závěr

Tato práce se zabývala návrhem vhodného vývojového kitu pro výuku bezdrátových technologií IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.1, IEEE 802.11 a obdobných a z nich vycházejících technologií. V teoretické části byl popsány standardy IEEE 802.15.1, IEEE 802.11, IEEE 802.15.4 a na nich pracující a z nich vycházející standardy. Následně byla nastíněna celková koncepce vývojového kitu, popsány požadavky na tento kit, požadavky na periferie a na mikrokontrolér. V následujících kapitolách byly popsány a srovnány mikrokontroléry, z nichž jeden byl vybrán. Poté jsou zvoleny jednotlivé komponenty a jsou krátce popsány jejich vlastnosti. Popsáno je také zapojení jednotlivých pinů mikrokontroléru a expandéru. Poté už byl proveden návrh vývojového kitu a návrh DPS v programu Autodesk Eagle. Rozvedena je poté také možnost programování pomocí nástroje SimpleLink CC13x2 and CC26x2 SDK a podpora výuky skrz SimpleLink Academy.

Výsledkem této práce je tedy návrh vývojového kitu a návrh desky plošných spojů. Osazení desky nakonec nebylo uskutečněno z důvodu nedostatku klíčových součástek, který pramení z globálního nedostatku polovodičových součástek způsobeného koronavirovou krizí.

Literatura

[1] FRENZEL, Lou. What-s The Difference Between IEEE 802.15.4 And ZigBee Wireless? In: *Electronic Design* [online]. Nashville: Endeavor Business Media, 2013 [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: https://www.electronicdesign.com/unused/article/21796046/whats-the-difference-between-ieee-802154-and-zigbee-wireless

[2] HYNČICA, Ondřej a Karel PAVLATA. Bezdrátové komunikační systémy založené na IEEE 802.15.4 v procesní automatizaci (1. část). *Automa* [online]. 2011, **17**(4), 23-25 [cit. 2020-12-02]. ISSN 1210-0592. Dostupné z: https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/43411.pdf

[3] HYNČICA, Ondřej a Karel PAVLATA. Bezdrátové komunikační systémy založené na IEEE 802.15.4 v automatizaci (2. část). *Automa* [online]. 2011, **17**(5), 50-52 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/43590.pdf

[4] *Wireless connectivity products: Overview* [online]. Texas Instruments, 2021 [cit. 2021-5-26]. Dostupné z: https://www.ti.com/wireless-connectivity/overview.html#simplelink

[5] *Wireless connectivity – Support & training* [online]. Texas Instruments, 2021 [cit. 2021-5-26]. Dostupné z: https://www.ti.com/wireless-connectivity/support-training.html

Seznam symbolů, veličin a zkratek

ASK	klíčování amplitodovým posuvem – Amplitude-shift keying
QPSK	Kvadraturní klíčování fázovým posuvem – Quadrature phase-shift keying
BPSK	Binární-fázové klíčování – Binary-Phase Shift Keying
DSSS	Technika přímého rozprostření spektra – Direct Sequence Spread Spectrum
PSSS	Technika paralelního rozprostření spektra – Parallel Sequence Spread Spectrum
CSMA-CA	Metoda náhodného přístupu k médiu s předcházením kolizí – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
ARQ	Metoda s automatickým opakováním – Automatic repeat request

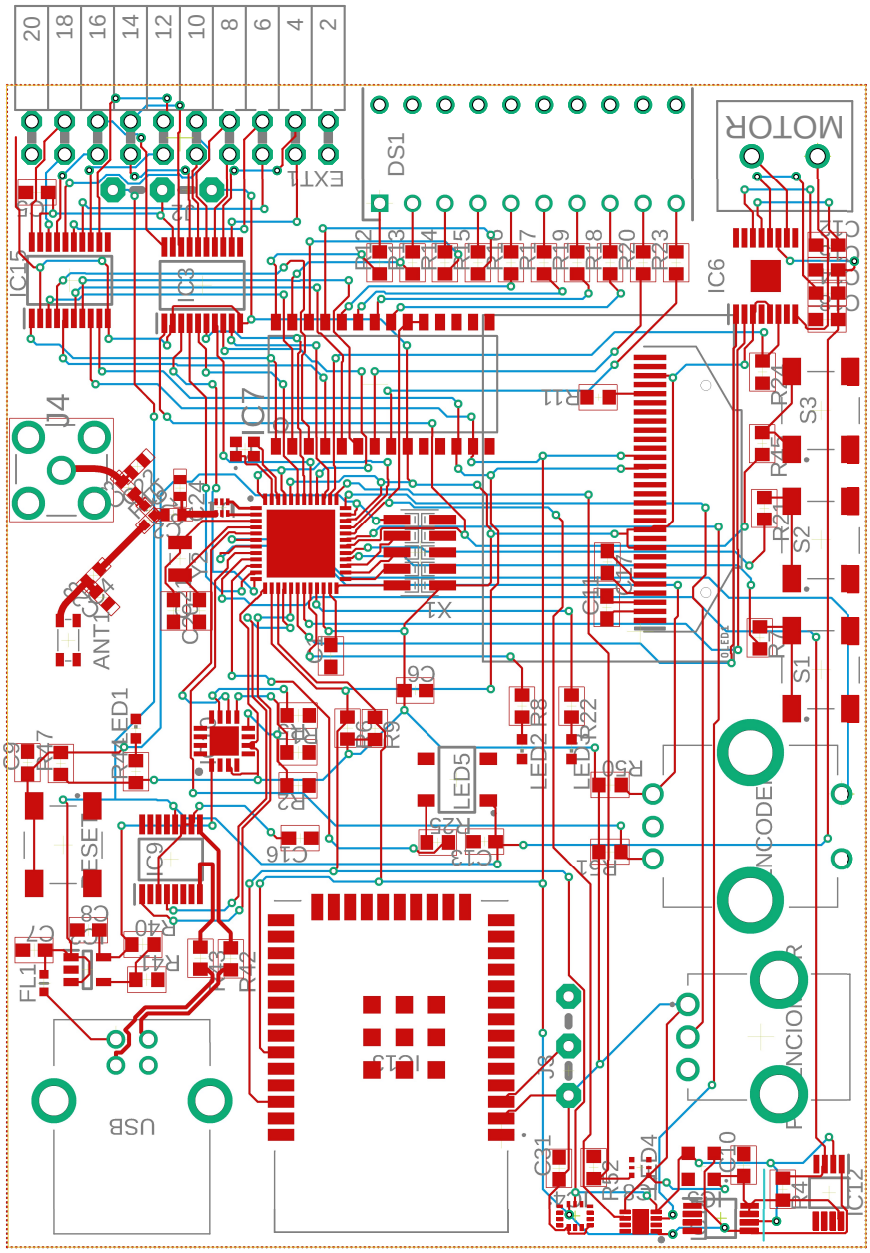
Seznam příloh

A Navržená deska plošných spojů **51**

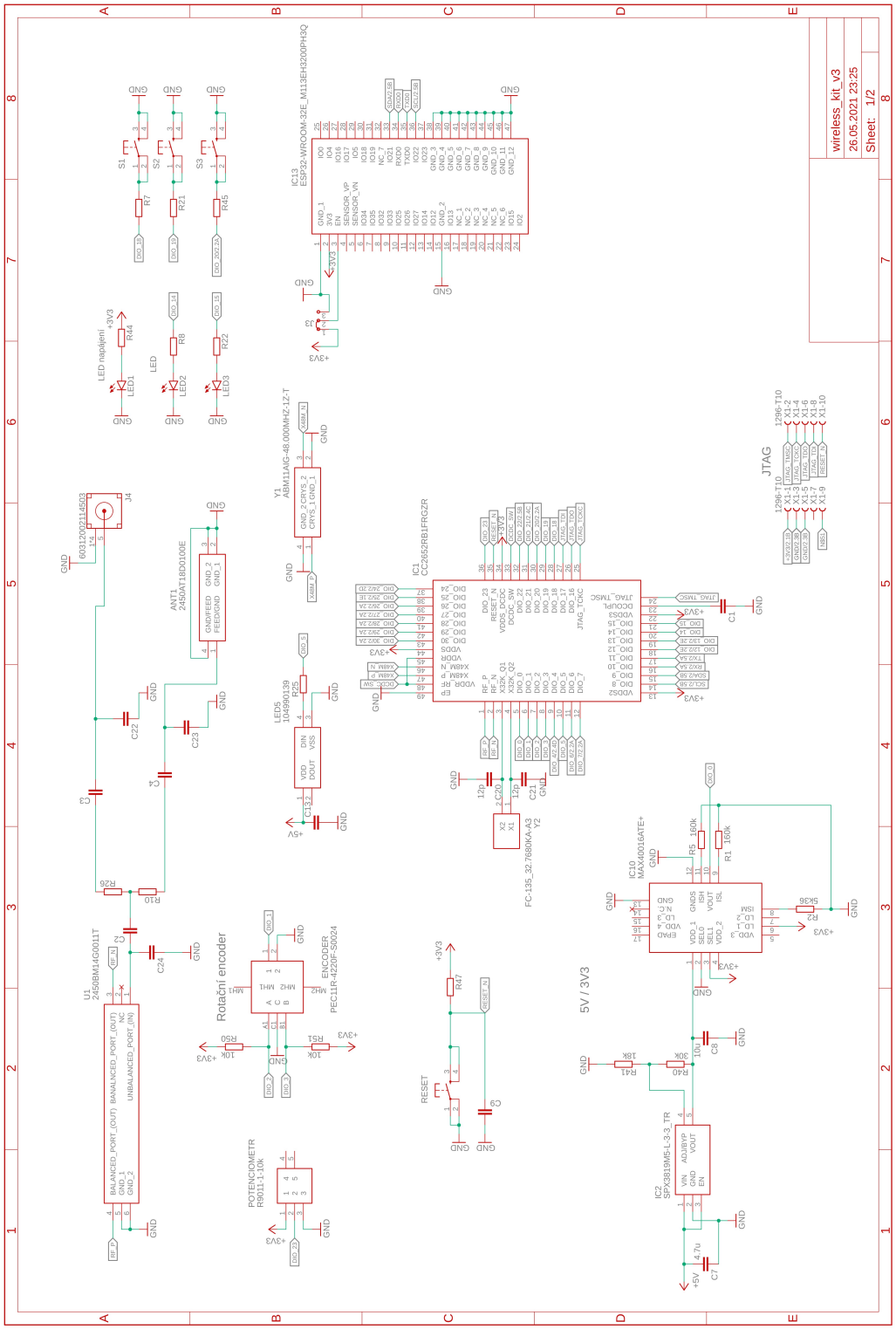
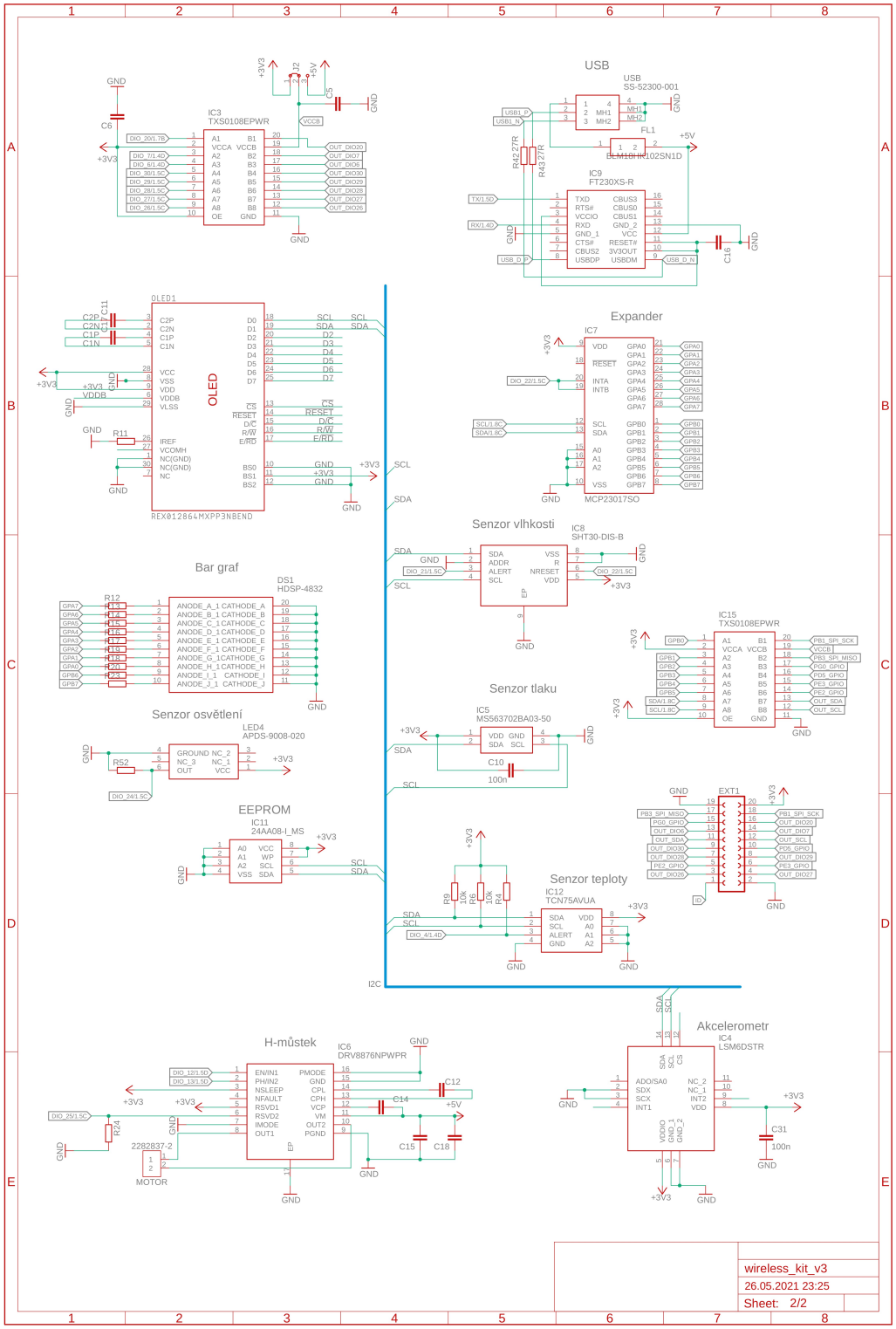
B Schéma zapojení MCU a periferií **53**

C Schéma zapojení periferií **55**

A Navržená deska plošných spojů



B Schéma zapojení MCU a periferií



C Schéma zapojení periferií