



# 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

## AUTOMATIZACE V DOMÁCNOSTI, VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ MODULY

HOME AUTOMATION, INPUT AND OUTPUT MODULES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Mikuláš Ponechal

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Levek

BRNO 2018

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**  
Ústav mikroelektroniky

**Student:** Mikuláš Ponechal

**ID:** 186167

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2017/18

## NÁZEV TÉMATU:

### Automatizace v domácnosti, vstupní a výstupní moduly

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte vstupní a výstupní moduly pro inteligentní dům. Tyto budou umožňovat snímání stavu vstupů, respektive budou řídit své výstupy s možností měření spotřeby. Zařízení budou navzájem komunikovat prostřednictvím bezdrátového subgigahertzového pásma. Zadané moduly budou umožňovat ovládání zásuvkových a světelných okruhů, a budou rovněž umožňovat řízení jasu LED svítidel. Nejprve prostudujte obecnou teorii ze zadaných oblastí a vše přehledně popište v úvodu bakalářské práce. Dále navrhněte a realizujte komunikační moduly. Následně celé zařízení podrobte zkušebnímu provozu a výsledky přehledně uveďte v textové části bakalářské práce. Toto zadání úzce navazuje na bakalářskou práci studenta Jakuba Konečného, který vytváří řídicí část systému.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 5. 2. 2018

**Termín odevzdání:** 31. 5. 2018

**Vedoucí práce:** Ing. Vladimír Levek



**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.**  
předseda oborové rady

#### 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**

Baklárská práca sprostredkováva teoretický rozbor problematiky automatizácie domácnosti s využitím IoT aplikácie. Cieľom práce je navrhnúť vstupné a výstupné moduly so zámerom uľahčiť užívateľom ovládanie jednotlivých elektronických zariadení. Prvá kapitola popisuje druhy bezdrôtových technológií najčastejšie používaných v IoT, princípy merania prúdu pre určenie spotreby energie a spôsoby stmievania svetiel. Druhá kapitola zahŕňa návrh bezdrôtovej komunikácie modulov s centrálnou riadiacou stanicou a konkrétne návrhy modulov. Tretia kapitola sa zaoberá konštrukciou a testovaním hardvérových modulov.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

Automatizácia domácnosti, bezdrôtová komunikácia, IQRF technológia, spotreba, stmievanie svetiel, vstupný a výstupný modul.

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis mediates theoretical analysis of home automation using IoT application. The aim of the thesis is to design input and output modules to make controlling of electronic devices easier for user. The first chapter describes wireless technologies which are mostly used in IoT applications, principles of measuring current in order to determine energy consumption and ways how to dim lights. The second chapter includes design of wireless communication between the modules and a central control station and specific module designs. The third chapter deals with the construction and testing of hardware modules.

## **KEYWORDS**

Home automation, wireless communication, IQRF technology, consumption, light dimming, input and output module.

PONECHAL, M. *Automatizácia v domácnosti, vstupné a výstupné moduly*. Brno: Vysoké učení technické v Brne, Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií. Ústav mikroelektroniky, 2018. 37 s., 6 s. príloh. Bakalárska práca. Vedúci práce: Ing. Vladimír Levek.

## **PREHLÁSENIE**

Prehlasujem, že svoju semestrálnu prácu na téma Automatizácia v domácnosti, vstupné a výstupné moduly, som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto semestrálnej práce som neporušil autorská práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich zákona č. 121/2000 Zb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Zb.

V Brne dňa .....

.....

(podpis autora)

## **POĎAKOVANIE**

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Vladimírovi Levekovi za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

Úvod	6
<b>1 Teoretické východiská IoT Riešenia</b>	<b>7</b>
1.1 Bezdrôtová komunikácia .....	7
1.1.1 IQRF Technológia .....	7
1.1.2 Ďalšie bezdrôtové technológie.....	11
1.2 Meranie spotreby odoberaného prúdu .....	12
1.2.1 Metóda merania prúdu rezistorom.....	12
1.2.2 Hallov jav.....	13
1.2.3 ACS712.....	15
1.3 Stmievanie svetiel .....	16
1.3.1 Riadenie fázy .....	17
1.3.2 Pulzno-šírková modulácia.....	18
1.4 DALI protokol .....	19
<b>2 Návrh systému inteligentnej domácnosti</b>	<b>21</b>
2.1 Návrh komunikačného systému.....	21
2.2 Vstupný modul.....	23
2.3 Výstupné moduly .....	25
2.3.1 Svetelný modul .....	25
2.3.2 Zásuvkový modul .....	30
2.4 Meranie odoberaného prúdu .....	35
<b>3 Konštrukcia a testovanie</b>	<b>39</b>
<b>4 Záver</b>	<b>42</b>
<b>Literatúra</b>	<b>43</b>
<b>Zoznam symbolov, veličín a skratiek</b>	<b>46</b>
<b>Zoznam obrázkov</b>	<b>48</b>
<b>Zoznam tabuliek</b>	<b>49</b>
<b>A Obvodové zapojenia</b>	<b>50</b>
A.1 Obvodové zapojenie vstupného modulu.....	50

A.2	Obvodové zapojenie zásuvkového modulu .....	51
A.3	Obvodové zapojenie svetelného modulu .....	52
<b>B</b>	<b>Návrh DPS</b>	<b>53</b>
B.1	Doska plošného spoja vstupného modulu – top.....	53
B.2	Doska plošného spoja zásuvky – top .....	53
B.3	Doska plošného spoja zásuvkového modulu – bottom.....	54
B.4	Doska plošného spoja svetelného modulu – top.....	54
B.5	Doska plošného spoja svetelného modulu – bottom.....	55
<b>C</b>	<b>Zdrojový kód</b>	<b>55</b>

# ÚVOD

Internet vecí (IoT) je v dnešnej dobe veľmi populárne a rýchlo rozvíjajúce sa odvetvie. Riadenie elektronických zariadení širokého spektra v domácnostiach, budovách, v monitorovacej a me-racej technike smeruje čoraz viac k automatizovanému riadeniu. Z toho vyplýva aj rýchly rozvoj tejto oblasti. V IoT aplikáciách sa vyžaduje výkonnosť, spoľahlivosť a jednoduchá manipulácia spolu s prehľadným spracovaním, nakoľko by mali byť navrhované najmä pre obyčajných užívateľov.

Aplikácia IoT do domácnosti bude tvorená dvomi hlavnými časťami. Prvá časť je zameraná na vytvorenie riadiacej stanice, ktorá bude obsluhovať výstupné zariadenia podľa požiadavky užívateľa. Rozpracováva ju kolega vo svojej práci. Druhá časť aplikácie sa zaoberá vytvorením modulov, ktoré budú v systéme inteligentnej domácnosti komunikovať práve s centrálnou riadiacou stanicou. Ide teda vlastne o kooperáciu dvoch častí celku.

Cieľom tejto práce je navrhnuť funkčné vstupné a výstupné moduly pre inteligentnú domácnosť. Moduly budú snímať vstupy, resp. ovládať výstupy, umožňovať meranie spotreby a komunikovať cez rádiovú komunikáciu s použitím IQRF technológie. Práca je členená do dvoch častí. Jedna časť sa zameriava na návrh komunikácie medzi jednotlivými modulmi a druhá ich návrhom a realizáciou.

Prvá časť sa zaoberá teoretickým prieskumom možných riešení. Sú v nej uvedené komunikačné technológie, ktoré sa používajú najmä v IoT. V rámci tejto časti sú preštudované a zhrnuté základné vlastnosti jednotlivých komunikačných technológií a ich rozdiely. Na základe týchto poznatkov bola vybraná technológia, ktorá najviac zodpovedá nami stanoveným požiadavkám na dostupnosť, jednoduchosť a spotrebu.

Väčšia časť práce je venovaná obvodovému návrhu modulov. Navrhnuté budú celkom tri moduly: jeden vstupný a dva výstupné. Vstupný modul bude riadiacim prvkom modulov výstupných. Jeho jedinou úlohou bude snímanie stavu vstupu, ktorými môže užívateľ ovládať výstupy. Jeden z výstupných modulov bude slúžiť na ovládanie zásuvky a meranie spotreby pripojenej elektrickej záťaže, druhý na ovládanie svetla. Takto pracujúci systém by mohol užívateľovi uľahčiť ovládanie jednotlivých elektrických zariadení vo svojom bývaní, poskytovať prehľad o ich spotrebe a zároveň ušetriť prácu s komplikovanou inštaláciou fyzických vodičov.

Keďže vývoj IoT a elektronických zariadení stále napreduje a smeruje k zjednodušovaniu ovládania, je treba sa v tejto oblasti čoraz viac vzdelávať, rozširovať, prehľbovať a uplatňovať poznatky z danej oblasti v praktickom živote, a získavať tak nové skúsenosti. A to je jedným z dôvodov vytvorenia mojej práce.

# 1 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ IOT RIEŠENIA

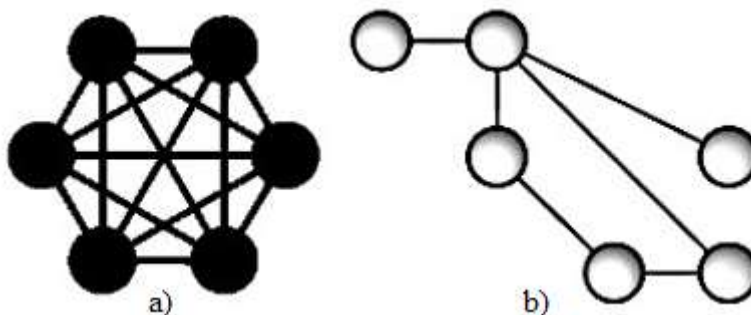
## 1.1 Bezdrôtová komunikácia

V dnešnej dobe sa veľké množstvo informácií prenáša vzduchom. Takýto spôsob prenosu dát je flexibilnejší, lacnejší a menej náročný na konštrukciu, keďže sú komunikačné siete realizované bez použitia množstva fyzických vodičov. Bezdrôtová komunikácia je všeobecne široký pojem, ktorý v sebe zahŕňa všetky spôsoby komunikácie prostredníctvom bezdrôtového signálu medzi dvomi alebo viacerými zariadeniami. Táto kapitola je venovaná oboznámeniu s rôznymi druhmi bezdrôtovej komunikácie [1].

### 1.1.1 IQRF Technológia

IQRF technológia sa špecializuje na rádiovú komunikáciu a používaná pre úsporné, nízko-rýchlostné bezdrôtové pripojenie vo frekvenčných pásmach nepresahujúcich 1 GHz na vzdialenosť desiatok až stoviek metrov, pre priemyselné riadenie strojov, automatizáciu budov a miest. Technológia môže byť použitá s hocijakým elektronickým vybavením tam, kde sa vyžaduje bezdrôtový prenos dát, teda pri diaľkovom ovládaní, monitorovaní dát alebo spojení viacerých zariadení do bezdrôtovej komunikačnej siete. IQRF si vytvorila vlastný komunikačný protokol IQMESH [2,3].

IQMESH (Intelligent Mesh) protokol bol vytvorený v roku 2005 ako základný komunikačný protokol pre IQRF zariadenia. Patentovaná metóda vytvárania sieťovej komunikačnej platformy s transceivermi (modulmi, ktoré obsahujú aj vysielateľ aj prijímač) definuje súčasnú činnosť zariadení dvoch alebo viacerých sietí umožňujúcich reťazenie. Protokol IQMESH používa sieťovú topológiu typu MESH. Sieťová topológia MESH môže byť lokálna sieť, bezdrôtová lokálna sieť alebo virtuálna lokálna sieť. Sú dva typy MESH topológie: úplná a neúplná. V úplnej je každé zariadenie je prepojené s každým ďalším zariadením v rámci jednej siete, v neúplnej sú niektoré spojené so všetkými a ostatné majú spojenie iba so zariadeniami, s ktorými si vymieňajú najviac dát. IQMESH podporuje komunikáciu s 240 zariadeniami. Ovládací prvok siete, koordinátor (C), je schopný ovládať až do 239 uzlových zariadení (N) [3].

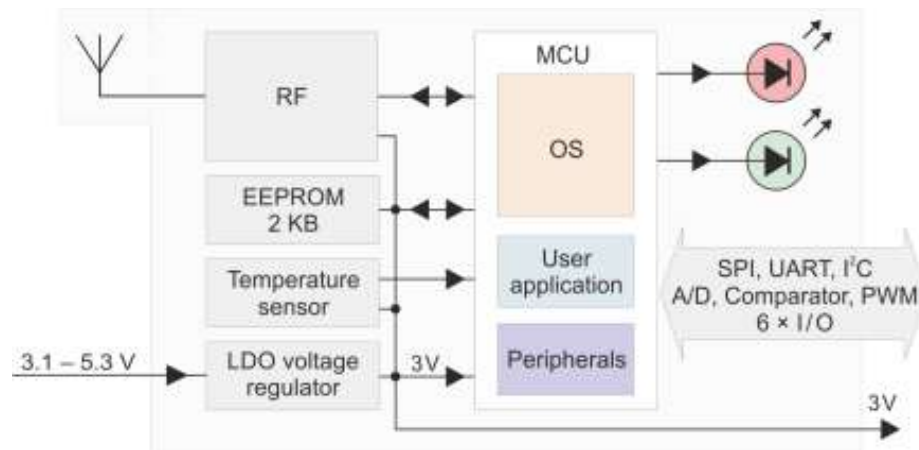


Obr. 1.1 - Topológie siete mesh - a) úplná, b) neúplná [35]

Jadro komunikácie je založené na bezdrôtových RF transceiveroch. IQRF

transceiver je elektronický rádiový modul, ktorý je zároveň základný komunikačný prvok IQMESH protokolu. Používa sa buď samostatne alebo ako súčasť v iných IQRF gateway zariadeniach (komunikačných bránach), routeroch. Sú rozdelené do niekoľkých rodín zariadení, z ktorých sú najpoužívanejšie TR-5xD a TR-7xD. Obe tieto rodiny pracujú na licenčne voľných ISM pásmach 868/916/433 MHz, majú rovnaký princíp prijímania a odosielania údajov, odlišnosti sú v parametroch, ako sú: spôsob pripojenia na DPS, veľkosťou externej EEPROM pamäte, samotným dosahom antény a podobne.

TR-52DA je IQRF rádiový modul z rodiny TR-5xD pracujúci vo frekvenčnom pásme na voľných ISM frekvenciách, 868 MHz a 916 MHz. Blokový diagram modulu je znázornený na Obr. 1.2 [4].



Obr. 1.2 – Blokový diagram IQRF transceivera [2]

Celý systém riadi mikrokontrolér PIC16LF1938-I/ML. Už z názvu je jasné, že sa jedná o MCU od firmy Microchip, konkrétne ide o programovateľné 8-bitové MCU s pamäťou SRAM o veľkosti 1024 B, EEPROM s veľkosťou 256 B. MCU taktiež v sebe zahŕňa 10-bitový A/D prevodník, 5 časovačov (štyri 8-bitové a jeden 16-bitový), sériové komunikačné rozhranie EUSART, I<sup>2</sup>C/ SPI [5]. Užívateľ má možnosť si modul sám naprogramovať podľa potreby. TR-52DA okrem prenosu informácií plní aj riadiacu úlohu – môže slúžiť ako ovládací prvok v zariadeniach. Mikrokontrolér sa dá programovať, stačí použiť program IQRF IDE a programátor CK-USB-02 alebo CK-USB-04 od firmy IQRF. V ľubovoľnom programovacom prostredí si užívateľ napíše kód, potom ho v programe IQRF IDE skompiluje a výsledný súbor .hex nahrá cez programátor do modulu.

Ďalšou dôležitou časťou modulu TR-52DA je transceiver MRF49XA. Jedná sa o integrovaný, čipový ISM pásmový Sub-GHz transceiver. Tento modul je ideálne riešenie pre nízkorozpočtové, obojsmerné, krátko-dosahové aplikácie s prenosovou rýchlosťou dát menšou ako 265 kbps. Je používaný v bezlicenčných frekvenčných pásmach 868 MHz a 916 MHz. Ďalšou výhodou pri použití MRF49XA je fakt, že poskytuje mikrokontroléru hodinový signál a to znamená, že na DPS nepotrebujeme žiadny ďalší externý kryštál [6].

V neposlednom rade obsahuje modul aj napätový regulátor MCP1700. Ďalšie vlastnosti TR-52DA:

- 2 LED diódy
- 8 pinov, 6 vstupných/výstupných
- A/D prevodník (2 kanálový), analógový komparátor
- DPS anténa
- SIM-kartový formát

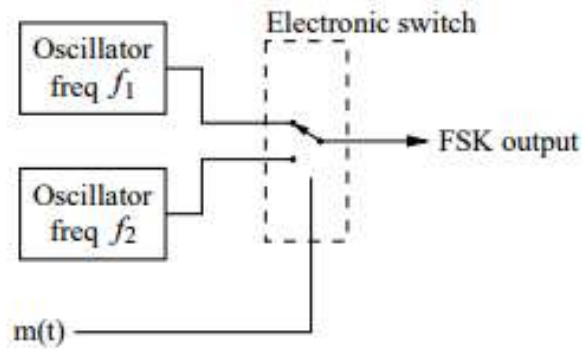
Prehľad elektrických vlastností TR-52DA je uvedený v Tab. 1.

Tab. 1 – Špecifikácie TR-52DA

Napájacie napätie		3,1 V – 5,3 V
LDO výstup		+3 V $\pm$ 60 mV ( $V_{cc} > 3,1$ V), 100 mA max.
Operačná teplota		-40 °C + 85 °C
Napájací prúd	spánkový režim	1,9 $\mu$ A (ak sú všetky periférie vrátane MRF49XA zakázané)
	aktívny režim	1 mA (MRF49XA zakázané), 1,6 mA (MRF49XA povolené), cca 2 mA (ak je zapnutá jedna alebo obe LED)
	RX režim	STD mód: 13 mA,
		LP mód: 400 $\mu$ A (OS v3.01D) a 330 $\mu$ A (od OS v3.02D)
	XLP mód: 35 $\mu$ A (OS v3.01D) a 25 $\mu$ A (od OS v3.02D)	
RF pásmo		868 MHz alebo 916 MHz (softwarovo nastaviteľné)
RF modulácia		Frekvenčná (FSK)
RF výstupný výkon		Programovateľné na 8 stupňov (0 – 7), -2,5 dBm/stupeň
RF dosah		do 300 m @ 19,2 kb/s
Vstupné napätie na C1, C2, C5 – C8 pinoch		0 V až $V_{out}$
A/D prevodník		10 bitový, 2 vstupy
Veľkosť (dĺžka*šírka*výška)		31,8 mm * 14,9 mm * 2,0 mm

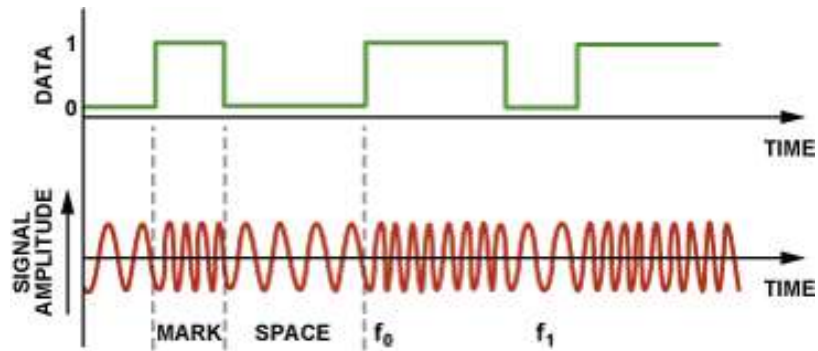
Na spracovanie FR signálov sa používa FSK (Frequency shift keying) modulácia. Najjednoduchší typ FSK modulácie je binárna modulácia. Máme dva signály logickej úrovne 0 a 1, každý so svojou nosnou frekvenciou. Pre signál logickej úrovne 1 priradíme frekvenciu  $f_1$  a pre signál úrovne 0 frekvenciu  $f_2$ , vid' rovnicu (1.1). Signály s týmito frekvenciami sa následne vysielajú podľa toho, ako sa prenášajú dáta. Takúto FSK moduláciu dosiahneme napríklad prepínaním dvoch nezávislých oscilátorov, kde jeden oscilátor beží na frekvencii  $f_1$  a druhý na frekvencii  $f_2$ . Prepínanie oscilátorov je zobrazené

na Obr. 1.3 [7].



Obr. 1.3 – Prepínanie oscilátorov [8]

Výstup z takéhoto systému môže vyzeráť podľa Obr. 1.4:

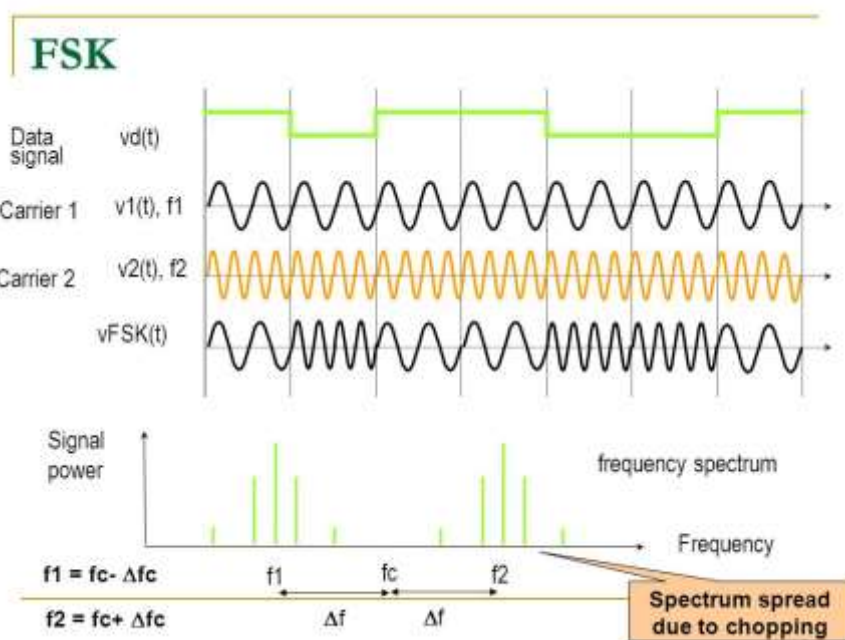


Obr. 1.4 – Ukážka binárnej FSK [7]

kde frekvencia  $f_0$  zodpovedá signálu logickej úrovne 1 a  $f_1$  znázorňuje úroveň logickej nule. Časový priebeh signálov binárnej FSK (1.1):

$$FSK(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t) & \text{pre bit 1} \\ \sin(2\pi f_2 t) & \text{pre bit 0} \end{cases} \quad (1.1)$$

Potlačenie bočných zložiek spektra FSK signálu je realizované MSK moduláciou (Minimum Shift Keying – frekvenčné kľúčovanie s minimálnym zdvihom), pri ktorom ku zmenám nosných frekvencií  $f_1$  a  $f_2$  dochádza v okamihu, keď nosný signál prechádza počiatkom. Takto je odstránená nespojitosť signálu v čase.



Obr. 1.5 - FSK modulácia so spektrom [34]

Na Obr. 1.5 je znázornená FSK modulácia so spektrom. Perióda signálu s frekvenciou  $f_1$  zaostáva za  $f_2$  o  $T$  časových jednotiek. Spektrum FSK signálu je potom superpozícia týchto dvoch signálov, jedného pre  $f_1 = f_c - \Delta f$  a druhého  $f_2 = f_c + \Delta f$  [8].

Vysielač s priamou konverznou architektúrou má obvykle výstupný výkon +7 dBm. Zariadenie pracuje na nízkom napätí 2,2 V až 3,8 V [6,7,8].

### 1.1.2 Ďalšie bezdrôtové technológie

Do tejto kategórie sa riadia všetky ostatné technológie založené na iných štandardoch, ako sú z najznámejších napríklad Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth Low-Energy a ZigBee.

Wi-Fi (Wireless – Fidelity) pripojenie dnes už nájdeme takmer v každej domácnosti. Wi-Fi signály sú prenášané obvykle na frekvencii 2,4 GHz, ktoré vďaka väčšej šírke pásma dokážu preniesť viac dát, ako napríklad už spomínané IQRF zariadenia fungujúce na frekvencii 433/868/916 MHz. Najnovší štandard Wi-Fi protokolu je IEEE 802.11ac. Na rozdiel od predchádzajúceho štandardu 802.11n umožňuje prenos informácií na frekvencii 5 GHz. Tento štandard je na nazývaný aj „Gigabitová Wi-Fi“, pretože má potenciál prekročiť priepustnosť dát 1 Gbps. Wi-Fi signál má dosah približne 50 m . Pre prenos súborov je tento štandard ideálnou voľbou , ale pre niektoré IoT aplikácie je príliš náročný na spotrebu energie [9,10].

Bluetooth je krátko-rozsahový komunikačný protokol, ktorý takisto ako Wi-Fi beží na frekvencii 2,4 GHz (ISM). Bluetooth štandard je 4.2 by mal byť schopný prenášať dáta rýchlosťou 2,1 Mbps. Bluetooth zariadenia sa v sieti navzájom objaviať. Najnovší štandard Bluetooth 5 ponúka oproti predchádzajúcemu štandardu 4.2 takmer o 2 Mbps vyššiu prenosovú rýchlosť, štyrikrát dlhší dosah (okolo 300 metrov) a osemkrát vyššiu dátovú kapacitu. Existujú dva typy Bluetoothu a to Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR) a Bluetooth Low Energy (BLE). BR/EDR sa stal veľmi populárnym

najmä v sfére smart zariadení a ich prepojení s inými zariadeniami [9,11,12].

Nový Bluetooth Low–Energy (BLE) taktiež nazývaný Bluetooth smart je významný hlavne pre jeho využitie v IoT aplikáciách. Funguje na rovnakej frekvencii ako klasický Bluetooth s tým rozdielom, že bol navrhnutý pre aplikácie, kde je vyžadovaná poznaťne nižšia spotreba. BLE nie je však vhodný pre prenos súborov, ide skôr o prenos malých balíkov dát. Dosah BLE zariadení je okolo 50 až 100 metrov s prenosovou rýchlosťou cca 1 Mbps [12].

ZigBee podobne ako bluetooth má široké spektrum využití, no jeho prítomnosť sa vyskytuje hlavne v priemysle. ZigBee 3.0 je založená na štandarde IEEE802.15.4, ktorý používa opäť frekvenciu 2,4 GHz. ZigBee 3.0 bolo vytvorené pre široké spektrum aplikácií, pre automatizáciu domácností, osvetlenie, senzory a napríklad aj pre zariadenia monitorujúce zdravotný stav. Od Wi-Fi a Bluetooth/BLE protokolov sa líši hlavne prenosovou rýchlosťou, ktorá činí 250 kbps. Tak ako IQRF technológia aj ZigBee komunikuje prostredníctvom IQMESH protokolu s dosahom desiatok až stovky metrov [9,13].

## 1.2 Meranie spotreby odoberaného prúdu

Pre inteligentné domácnosti je meranie spotreby jednou z najbežnejších požiadaviek na realizáciu. V západnej Európe tvoria náklady na energie približne 7 percent rodinného rozpočtu. Každá úspora na energiách je plus pre rodinný rozpočet. Prehľad spotrebovanej energie na konkrétnych odberných miestach vedie k osvojeniu ekonomickejších návykov a následne k ušetreniu energie v domácnosti. Táto kapitola sa zameriava na možnosti riešení merania elektrického prúdu na základe dostupnej internetovej literatúry, pričom popisuje metódy merania rezistorom, Halloovou sondou a zároveň upozorňuje na ich rozdiely.

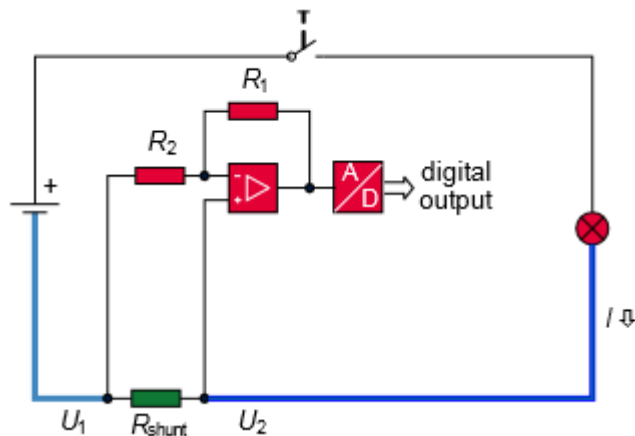
### 1.2.1 Metóda merania prúdu rezistorom

Jednou z možností ako merať prúd je metóda merania tohto prúdu cez rezistor. Podľa všeobecnej Ohmovej rovnice (1.2) platí:

$$U_2 - U_1 = R * I, \quad (1.2)$$

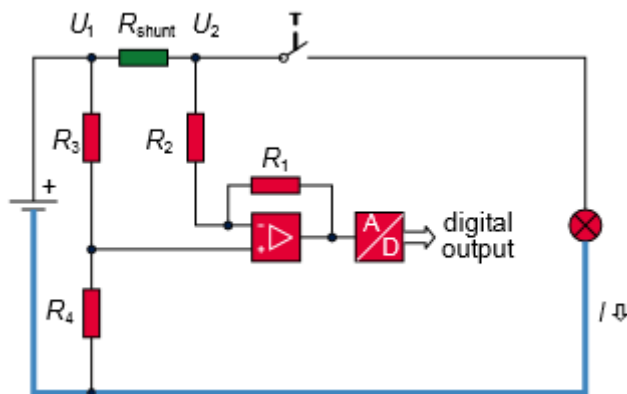
kde  $R$  je veľkosť odporu, cez ktorý tečie prúd  $I$ , a  $U_2 - U_1$  je rozdiel napätí na termináloch tohto rezistora. Tento rozdiel napätí môžeme napríklad zosilniť operačným zosilňovačom a signál priviesť do A/D prevodníka, ktorého výstup bude digitálna hodnota úmerná prúdu. Rezistor do obvodu môžeme zaradiť dvomi spôsobmi [15]:

- Zapojenie na spodnej strane
- Zapojenie na hornej strane



Obr. 1.6 – Zapojenie na spodnej strane [15]

Zapojenie na spodnej strane znamená, že jeden terminál rezistora je pripojený na zem napájania a druhý na záťaž, podľa Obr. 1.6. Operačný zosilňovač je v invertujúcom zapojení a s dvomi rezistormi  $R_1$  a  $R_2$  v obvode slúžia na zosilnenie úbytku napätia na rezistore a následne tento zosilnený signál priviesť na A/D prevodník [15].



Obr. 1.7 – Zapojenie na hornej strane [15]

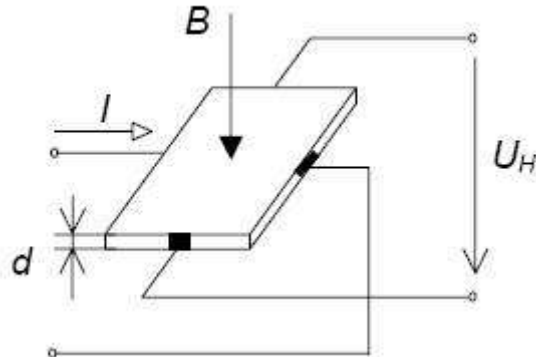
Na Obr. 1.7 je rezistor pripojený priamo na napájanie. Je ušetrené jedno fyzické spojenie, ale v obvode sú potrebné ďalšie dva rezistory  $R_3$  a  $R_4$ , ktoré slúžia ako napäťové deliče a operačný zosilňovač je v diferenčnom zapojení [15].

Meranie prúdu cez rezistor má aj svoje úskalía. Pri zlom oddelení meracieho obvodu od nízkonapäťových obvodov znamená ich zničenie, keďže sa do nich privedie priamo napätie meracieho obvodu. Takéto riešenie je spravidla aj drahšie [14].

## 1.2.2 Hallov jav

Pri prechode elektrického prúdu vodičom vzniká okolo vodiča magnetické pole, ktoré je kolmé na prechádzajúci prúd. Magnetické pole v okolí vodiča má za dôsledok vychýľovanie voľných nosičov náboja z ich pozdĺžnych dráh k okrajom vodiča. Sila, ktorá nosiče náboja vychýľuje sa nazýva Lorentzova sila. Lorentzova sila spôsobí vznik rozdielu potenciálov na krajoch vodičom, teda vznik Hallovho napätia  $U_H$ . Na meranie tohto napätia sa používajú hallove sondy. Keďže sa Hallov jav najviac prejavuje pri

polovodičoch, aj Hallova sonda obsahuje polovodičovú doštičku. Ak je táto doštička vložená do magnetického poľa vznikne už spomenutým spôsobom Hallovo napätie. Princíp je zobrazený na Obr. 1.8 [16].



Obr. 1.8 – Hallov jav [16]

Pre vzniknuté Hallovo napätie platí vzťah:

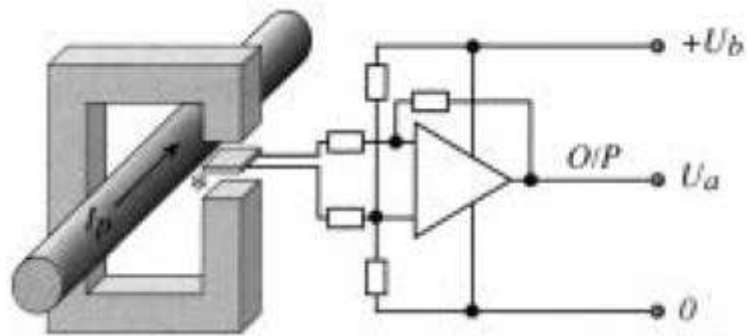
$$U_H = \frac{R_H}{d} * I * B, \quad (1.3)$$

kde  $U_H$  je Hallovo napätie,  $R_H$  predstavuje Hallovu konštantu,  $I$  reprezentuje prúd pretekajúci vodičom priemeru  $d$  a  $B$  je veľkosť magnetickej indukcie.

Prúdové senzory využívajúce Hallov jav pracujú na širokom spektre rozsahov. Ich základnú časť tvorí spravidla magnetický obvod. Úlohou tohto obvodu je sústreďovať magnetický tok do miesta, kde sa nachádza Hallova sonda. Magnetický obvod sa odtieňuje z dôvodu dosiahnutia lepšej presnosti pri meraní. Hallovými senzormi môžeme merať jednak jednosmerný, ale aj striedavý prúd. Existujú dva spôsoby merania prúdu a sú zobrazené na Obr. 1.9 a Obr. 1.10 [16]:

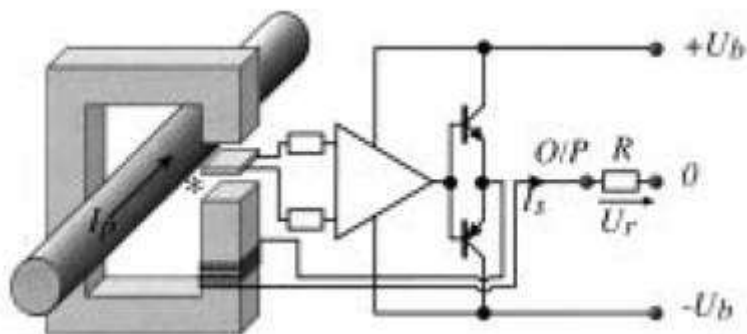
- Meranie prúdu otvorenou slučkou
- Meranie prúdu uzavretou slučkou

Konštrukcia merania otvorenou slučkou si vyžaduje použitie lineárneho hallovho generátora, nakoľko potrebujeme previesť hodnoty magnetického toku na napätie. Taktiež je vhodné zaistiť kompenzáciu teplotných vplyvov, ktoré majú za následok zmenu hallovho napätia. Spôsob merania prúdu je vhodný pre aplikácie, v ktorých sa vyžaduje nízka spotreba, teda napríklad aby bolo dané zariadenie napájané z batérie. Takéto prístroje sa však používajú viac menej pre orientačné merania, nakoľko sú vysoko preťažiteľné [17].



Obr. 1.9 – Otvorená slučka [17]

Meranie prúdu cez uzavretú slučku je flexibilnejšie, nakoľko ponúka veľmi rýchlu odozvu pri meraní, lineárnejší priebeh a tiež použitie pre vyššie frekvencie. Princíp tohto merania spočíva v tom, že magnetický tok, ktorý je dôsledkom prechodu primárneho prúdu obodom je vyrovnávaný magnetickým tokom magnetického obvodu. Ak magnetický tok vzniknutý tečením primárneho prúdu nie je eliminovaný magnetickým tokom vnútorného magnetického obvodu, vzniká odchýlka, ktorá zapríčiňuje vznik Hallovho napätia v Hallovom generátore, ktorý vytvára sekundárny prúd s cieľom eliminovať túto odchýlku. Sekundárny prúd je pritom skutočný obraz primárneho prúdu [18].

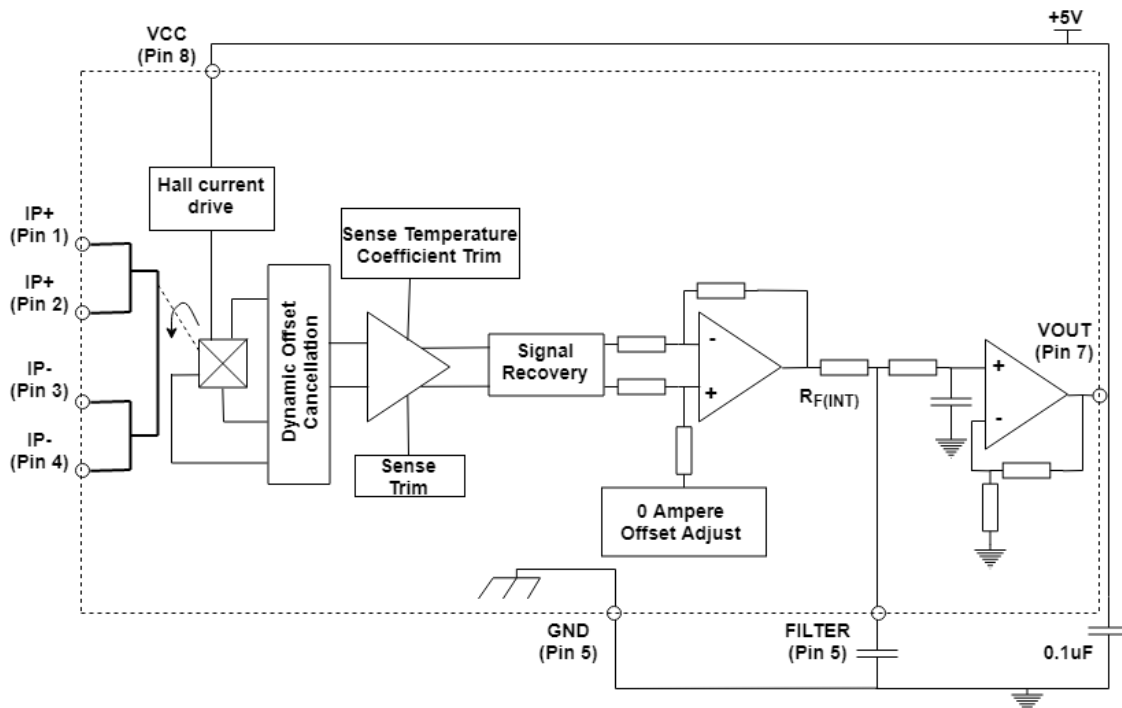


Obr. 1.10 – Zatvorená slučka [18]

### 1.2.3 ACS712

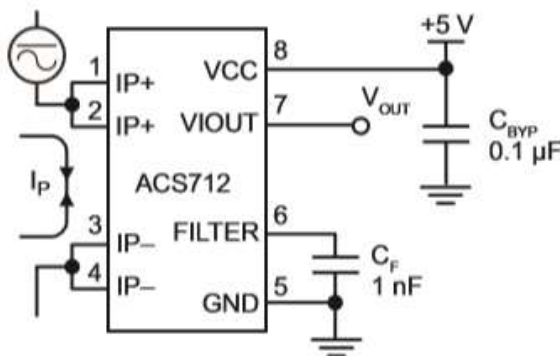
ACS712 je zariadenie od firmy Allegro™ určené na snímanie jednosmerného alebo striedavého prúdu. Typické aplikácie zahŕňajú kontrolu motora, detekciu záťaže, napájacie napätie spínaným zdrojom a ochranu pri prekročení rozsahu prúdu. Príklad typického zapojenia obvodu je na Obr. 1.12.

Zariadenie je zostavené z lineárneho Hallovho obvodu s vodivou medenou cestou, ktorá je umiestnená v blízkosti povrch formy. Prúd pretekajúci touto medenou cestou vytvára magnetické pole, ktoré je Hallovým obvodom prepočítané na príslušnú hodnotu napätia. Odpor medenej cesty je typicky 1,2 mΩ, čo zaručuje nízku výkonovú stratu. Súčiastka je v puzdre SOIC8 [19].



Obr. 1.11 - Blokový diagram ACS712 [19]

Blokový diagram zobrazený na Obr. 1.11 znázorňuje detailne úplné zapojenie vo vnútri ACS712.



Obr. 1.12 - Typické zapojenie meracieho obvodu [19]

Zapojenie ACS712 na Obr. 1.12 bude začlenené do obvodu pri návrhu zásuvkového modulu.

### 1.3 Stmievanie svetiel

V moderných domoch je ovládanie svetiel na diaľku už takpovediac záležitosť samozrejmajá. Nejde len o samotné zapnutie a vypnutie svetla, ale skôr o reguláciu jeho intenzity na základe rôznych vplyvov, či už druhov činností s rôznym nárokom na množstvo svetla v danej miestnosti alebo počasia. Vhodný typ stmievača závisí od druhu

svietidiel, na ktoré sa má stmievanie aplikovať. Svetlá môžu mať indukčný charakter (MLV, neónové lampy), kapacitný charakter (ELV), rezistívny charakter (halogénové lampy) alebo sa môže jednať o LED lampy. Táto časť práce je zameraná na objasnenie princípov stmievania svetiel.

Princíp stmievania svetla spočíva v redukovaní tečúceho prúdu do konkrétneho svietidla. Existujú tri spôsoby stmievania [14]:

- Analógové riadenie
- Riadením fázy
- PWM moduláciou

Analógové riadenie sa veľmi nepoužíva pre jeho energetickú neefektívnosť, nakoľko sa napätie na vytvorenie svetla podielí nastaviteľným predradným rezistorom a nevyužitý výkon sa premení na tepelnú energiu na tomto rezistore [20].

Fázové stmievače pracujú efektívnejšie pretože prúd je spínaný obvodomými prvkami ako sú tyristory a triaky. Prúd tečúci svietidlom je spínaný na frekvencii 50 Hz. A pretože je prúd prerušený iba v prípade vypnutia tu nenastáva problém so stratou energie a jej premenou na teplo, resp. je do značnej miery redukovaný [20].

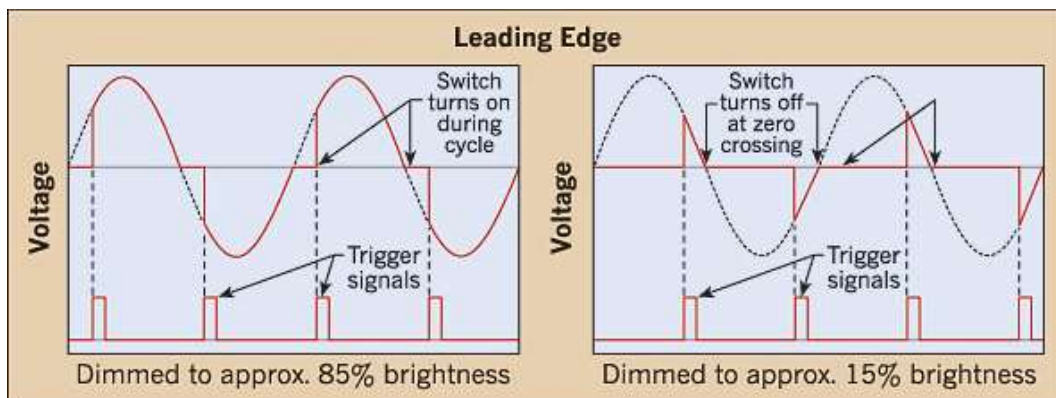
Tyristor je dvojbránová jednosmerná polovodičová súčiastka, ktorá obsahuje štyri oblasti so striedajúcim sa typom vodivosti a to prechod PN, NP a PN. Z jednej oblasti P je vyvedená riadiaca elektróda, ktorou je tyristor spínaný. Triak je takisto dvojbránová súčiastka, ale na rozdiel od tyristora má päťvrstvovú štruktúru a je obojsmerná, to znamená, že je schopná viesť striedavý prúd. Triak sa skladá z dvoch antiparalelne zapojených tyristorov, ktoré majú spojené riadiace elektródy do jednej. Schematické značky triaka a tyristora sú na Obr. 1.13 [21].



Obr. 1.13 – Schematické značky tyristora a triaka

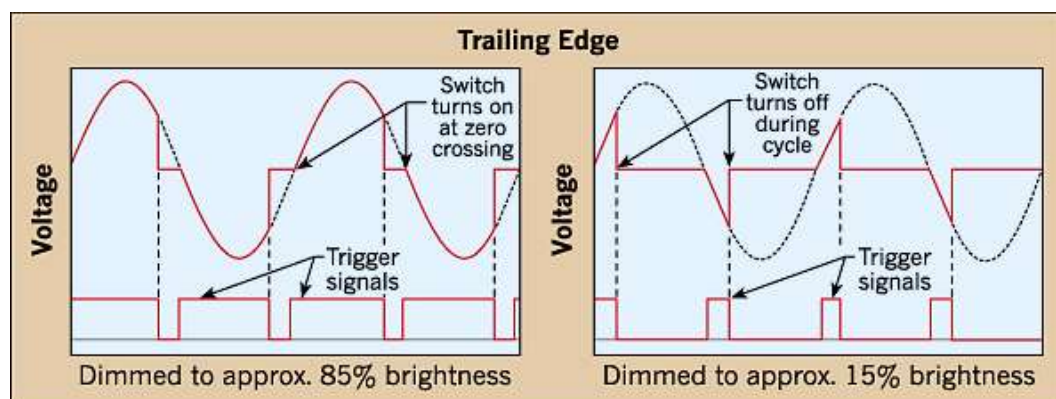
### 1.3.1 Riadenie fázy

Pre stmievače s riadením fázy na začiatku hrany (Obr. 1.14), triak alebo tyristor, je dôležitý prúd, ktorý nimi prechádza. Ak tento prúd klesne pod prahovú úroveň týchto zariadení (keď krivka pretína nulu), zariadenie sa vypne a prestane viesť prúd. Pri indukčnej záťaži je celkom pravdepodobné, že prúd nestihne dosiahnuť prahovú hodnotu skôr, než skončí spúšťací impulz. Stmievače navrhnuté pre použitie so záťažou s indukčným charakterom používajú techniku „tvrdého odpálenia“, ktorá zaisťuje, že spúšťací impulz sa nevypne skôr ako prúd dosiahne požadovanú prahovú hodnotu [22].



Obr. 1.14 – Riadenie fázy na začiatku hrany [22]

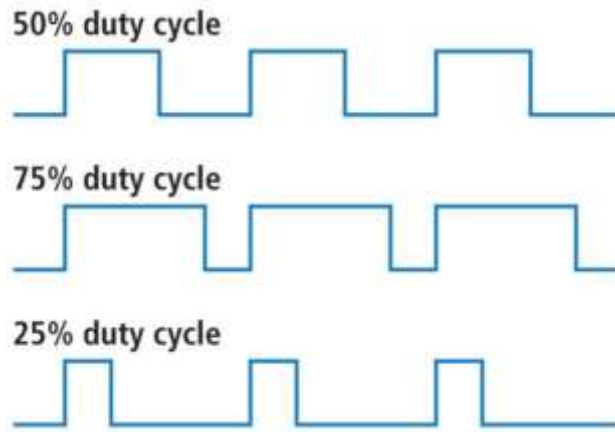
Nízkonapäťové záťaže majú väčšinou kapacitný charakter a na stmievanie je potrebné využiť riadenie fázy na konci hrany ako je znázornené na Obr. 1.15. Namiesto spínania triakov sa používajú tranzistory, ktoré umožňujú zastaviť alebo zopnúť prúd v hociktorej časti AC fázy. „Vypínanie“ tyristoru je totiž možné len vtedy, keď krivka napätia prechádza nulou. Stmievač používajúci riadenie fázy na konci hrany pôsobí na napätie na záťaži od bodu, kedy krivka pretne nulu [22].



Obr. 1.15 – Riadenie fázy na konci hrany [22]

### 1.3.2 Pulzno-široková modulácia

Ide o bezstratový spôsob modulácie výkonu dodávaného do elektrickej záťaže. Využíva sa pri tom prerušovanie pretekajúceho prúdu, čo umožňuje napríklad meniť jas v niektorých svetelných zdrojoch alebo aj korigovať rýchlosť otáčania jednosmerných motorov. Modulovaný signál môže mať v čase iba dva stavy, logickú úroveň 1 (5 V) a logickú úroveň 0 (uzemnenie). Jedná sa o výkonové napájanie zariadenia, pričom sa mení strieda napájania a to tak, že sa napájacie napätie prerušuje. To znamená, že sa mení pomer času kedy je napájacie napätie na logickej úrovni 1 k času, keď je toto napätie na logickej úrovni 0 v rámci jednej periódy. Čím je väčšia strieda, tým väčšia je plocha pod krivkou, čo má za následok väčší výkon dodaný do svetidla, ako je znázornené na Obr. 1.16. Napríklad ak je ovládaný jas svetidla a strieda signálu je nastavená na 50 %, znamená to, že pomer doby signálu 1 k dobe signálu 0 v jednej perióde je 1:1 a teda aj jas svetidla bude 50 % z maximálnej hodnoty [26].



Obr. 1.16 – Znáozornenie rôznych stried signálu [26]

## 1.4 DALI protokol

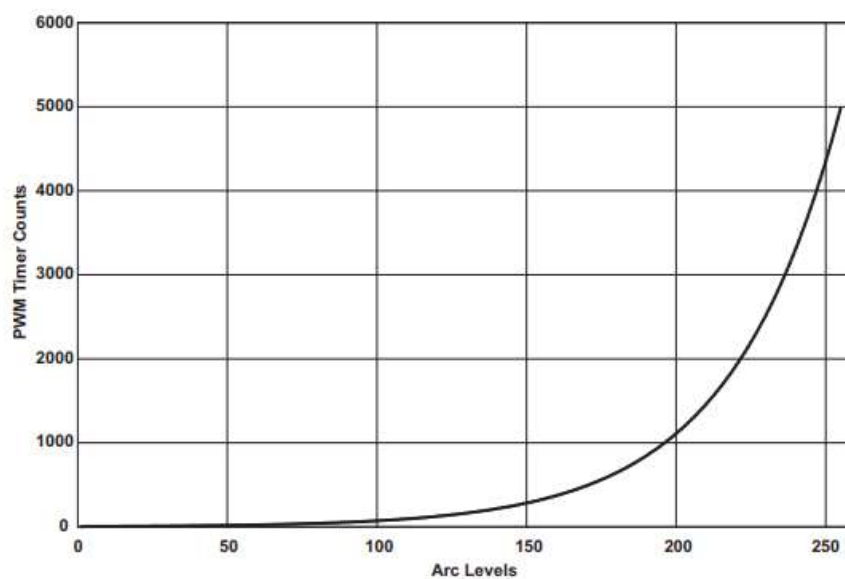
DALI (Digital Adressable Lightning Interface) je celosvetový štandard, špecifikovaný Medzinárodnou elektrotechnickou komisiou (IEC).

DALI protokol bol vyvinutý špeciálne pre osvetlenia s využitím LED l&acaron;p. Ponúka široké spektrum nastavení, operácií so svetidlami, ale prínos zaznamenal napokon aj v úspore elektrickej energie. Je teda pochopiteľne použiteľný aj pri stmievaní LED l&acaron;p [24].

Najnovšia verzia protokolu je IEC 62386. DALI je poloduplexný digitálny komunikačný systém navrhnutý pre moderné svetelné aplikácie. Každé svetlo v DALI systéme je individuálne adresovateľné s možnosťou zaradenia do jednotlivých skupín a priradením vlastnej svetelnej scény. Svetelné systémy je možné riadiť intenzitou denného svetla, senzormi pohybu alebo manuálne s možnosťou broadcastovania (vysielania príkazov všetkým zariadeniam naraz). Rozsah systému môže byť od jedného svetidla až po rozsiahle komplexné združenia svetidiel, ktoré sú navzájom prepojené cez tzv. huby (HUB = sieťový rozbočovač) alebo routery (smerovač) [17,18].

Napájanie rozhrania sa pohybuje podľa normy od 11,5 V do 22,5 V. Led systém potrebuje pre správnu funkcionality vlastný driver. LED driver je zariadenie, ktoré poskytuje osvetleniu konštantný prúd. Je to teda zdroj energie, ktorého elektrická charakteristika je zhodná s charakteristikou LED svetidiel. LED drivery týmto zabezpečujú správne fungovanie svetidiel a chránia ich pred poškodením [23,25].

Pre funkciu stmievania svetiel boli štandardizované krivky, lineárna a logaritmická, ktorá je zobrazená na Obr. 1.17. Logaritmická krivka bola normalizovaná preto, lebo aj ľudské oko vníma svetlo logaritmicky. Hodnoty na krivke môžu byť od 1 do 254, pričom úroveň 1 predstavuje 0,1 % jasú a hodnota 254 znamená 100 % jas. Táto krivka umožňuje jemnejšie ovládanie jasú svetiel na nižších úrovniach. Samotné stmievanie svetiel sa ovláda cez PWM (pulse width modulation) [23,24].



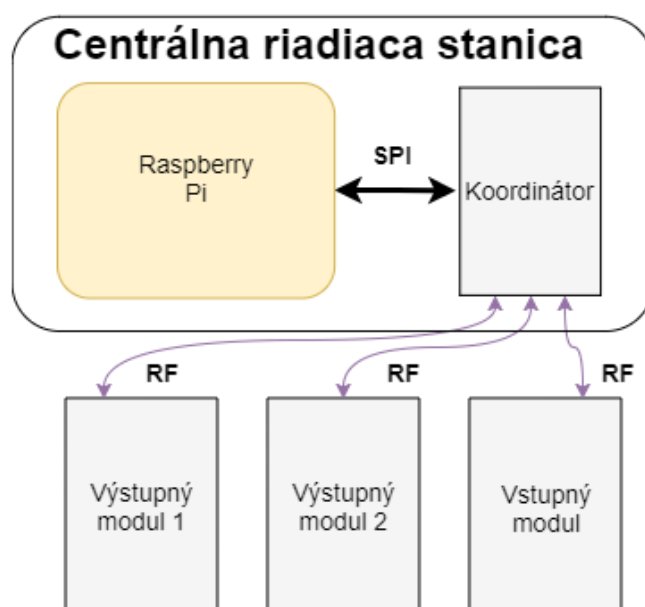
Obr. 1.17 – Logaritmická krivka jasů svetla [23]

DALI protokol bol preštudovaný z dôvodu zvýšenia poznatkov o možnostiach automatizácie. DALI je používaný najmä v svetlárskom odvetví, kde je potrebné ovládať väčšie množstvo svietidiel napr. vo výrobných halách, skladoch, atď. V našom prípade DALI nebude použité, pretože by sme nevyužili jeho potenciál.

## 2 NÁVRH SYSTÉMU INTELIGENTNEJ DOMÁCNOSTI

Táto kapitola zahŕňa návrh konkrétnych modulov, spôsob komunikácie a ich zaradenie do vyššieho ekosystému inteligentnej domácnosti.

Celý projekt je rozdelený na dve časti. Táto práca sa zaoberá iba jednou časťou celku, v ktorej sa venuje návrhu už spomínaných vstupných a výstupných modulov a ich komunikácii v celom projekte. Návrh komunikačného systému aj modulov je uvedený v nasledujúcich podkapitolách. Druhá časť projektu sa zaoberá problematikou návrhu centrálnej riadiacej stanice, ktorej úloha je sprostredkovať riadenie a obsluhu výstupných modulov na základe spracovania informácií zo vstupného modulu ovládaného užívateľom. Túto časť spracováva kolega Jakub Konečný. Funkcionalita celého projektu je demonštrovaná na Obr. 2.1.



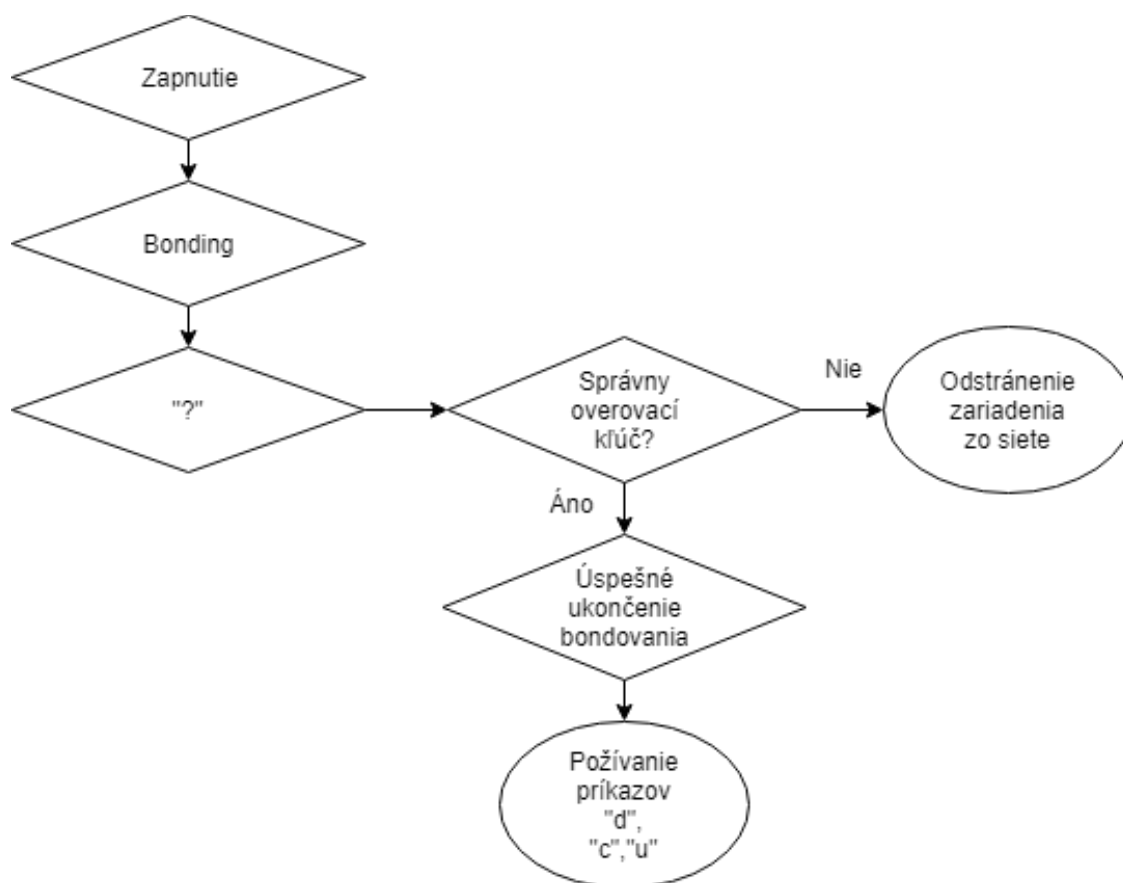
Obr. 2.1 – Prevádzkový model

### 2.1 Návrh komunikačného systému

Všeobecný princíp celej komunikácie spočíva v tom, že jednotlivé zariadenia budú komunikovať pomocou transceiverov TR-52DA. Vstupný modul odošle informáciu užívateľského vstupu do koordinátora, ktorý bude súčasťou centrálnej riadiacej stanice. Koordinátor následne odošle prijaté dáta cez perifériu SPI do Raspberry Pi, kde sa dáta zo vstupného modulu spracujú. Spracované dáta sa odošlú opäť do koordinátora, ktorý na základe požiadavky od užívateľa odošle príkaz do konkrétneho výstupného modulu, v ktorom sa má vykonať konkrétna operácia.

Pred tým, než začne výmena informácií medzi modulmi a koordinátorom je potrebné vybudovať komunikačnú sieť, v ktorej bude jasne určený koordinátor a uzly. Uzly budú odpovedať zariadeniam navrhnutým v tejto bakalárskej práci. Najskôr sa musia ku

koordinátoru pripojiť uzly prostredníctvom bondingu. Bonding je teda proces, pri ktorom sa uzol spája s koordinátorom. Pre dosiahnutie prepojenia, musíme spustiť funkciu `bondNewNode()` na koordinátore, ktorá trvá po dobu 10 s. Zároveň v časovom intervale 10 s musí prebehnúť funkcia `bondRequestAdvanced()` na zariadení, ktoré sa chce ku koordinátorovi pripojiť. Po úspešnom bondovaní koordinátor pošle hodnotu 0x11 cez SPI do Raspberry Pi. Číslo 0x11 bola zvolená po dohode s kolegom Jakubom Konečným ako overovací znak pre overenie úspešnosti vykonania operácie. Naopak, ak akákoľvek akcia neprebehne, resp. jej výsledok bude neúspešný, koordinátor vráti hodnotu 0xFF. Bezprostredne po bondovaní a obdržaní „?“ od koordinátora modul koordinátorovi vráti reťazec znakov „x123“ pričom „x“ bude značiť typ zariadenia, „123“ bude kolegovi Jakubovi Konečnému slúžiť ako overovací kľúč pre dokončenie bondovania. Ak tento kľúč nebude záväzne „123“ zariadenie, ktoré sa pokúšalo pripojiť do siete bude automaticky zo siete odstránené. Zariadenia môže byť typu „P“ (plug - zásuvka), „L“ (light – svetlo) alebo „B“ (button – tlačidlo). Výsledný reťazec môže vyzerat' nasledovne: „P123“ čo bude znamenať, že posledné nabondované zariadenie bola zásuvka. Proces je popísaný vývojovým diagramom na Obr. 2.2.



Obr. 2.2 – Vývojový diagram procesu bondovania

Po úspešnom bondovaní sa prechádza ku komunikácii s modulmi. Pre režim ovládania „command mode“ bol opäť po dohode s kolegom zvolený konkrétny formát príkazu s dĺžkou 3 bajty, a to „c<adresa><príkaz>“, kde bajt <adresa> zodpovedá adrese modulu, ktorému má byť príkaz doručený, tj. adresa modulu pridelená koordinátorom, <príkaz> je číslo, závislé na type modulu a „c“ je rozpoznávací znak, že sa jedná

o ovládací príkaz.

Zásuvkový modul bude „počúvať“ na príkazy 0x00, 0x01, 0x02. Príkaz 0x00 bude slúžiť na vypínanie relé (vypínanie zásuvky), 0x01 na zapínanie relé a príkaz 0x02 bude žiadosť o meranie odoberaného prúdu zát'azou.

Svetelný modul nebude reagovať na konkrétny príkaz, ale v bajte <príkaz> mu bude posiadaná hodnota jasu, ktorú má dať na výstup PWM a tým sa bude meniť jas svetla, podľa požiadaviek užívateľa. Intenzita jasu bude pochopiteľne v rozsahu jedného bajtu 0-255, pričom intenzity jasu v rozsahu 0-9 budú brané všetky ako 0 (modul nebude svietiť) a interval jasu 245-255 ako maximum.

Vstupný modul naopak nepočúva na žiaden ovládací príkaz, po úspešnom bondingu už iba odosiela informácie o svojom stave, teda či bolo tlačidlo stlačené krátko, alebo dlho. Na rozdiel od výstupných modulov bude tento pracovať v low-power režime, aby bola dosiahnutá úspora energie a zároveň životnosť batérie, z ktorej je napájaný.

Ďalším príkazom, ktorý je informatívneho charakteru, je príkaz „d“ (discovery). Discovery funkcia slúži na detekciu zariadení aktívnych zariadení v sieti. Koordinátor vráti centrálnej stanici číslo (počet) aktívnych zariadení v sieti, ktoré sú pripojené ku koordinátorovi. Na odstránenie zariadenia zo siete bude použitá funkcia removeBond() na strane uzla a removeBondedNode() na strane koordinátora. Koordinátor po obdržaní „u“ spustí funkciu removeBondedNode() a zároveň odošle „u“ aj na adresu uzla, ktorý má byť zo siete odstránený, čím sa v uzle spustí removeBond(). Odstránenie zariadenia je týmto dokončené.

Tab. 2 - Prehľad príkazov pre jednotlivé moduly po nabondovaní

Príkaz	Zariadenie	Hodnoty
?	Zásuvka, svetelný modul, vstupný modul	
c	Zásuvka, svetelný modul	Z <sup>(1)</sup> : 0x00, 0x01, 0x02 L <sup>(2)</sup> : 0-255
u	Zásuvka, svetelný modul, vstupný modul	

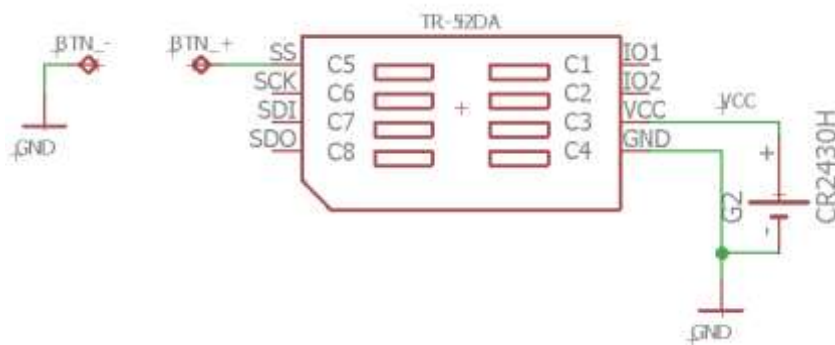
Poznámka: (1) Z – označenie pre zásuvkový modul

(2) L – označenie pre svetelný modul

## 2.2 Vstupný modul

Vstupné zariadenie bude slúžiť ako ovládací prvok pre výstupný modul, ktorý si užívateľ vyberie a nastaví prostredníctvom centrálnej riadiacej stanice. Modul bude pracovať v nízko-príkonovom režime a jeho úlohou bude snímať krátke alebo dlhé stlačenie prostredníctvom rádiového transceivera TR-52DA. Funkcia je potvrdiť spustenie zadanej operácie stlačením tlačidla. Samotné tlačidlo je pripojené na vývod mikrokontroléra

označeného ako C5, ktorý primárne slúži ako Slave Select pre perifériu SPI, ale môže byť využitý viacerými spôsobmi. Vstup musí byť striktné beznapäťový, pretože hrozí nebezpečenstvo zničenia. Ochrana realizovaná nieje. Očakáva sa iba jediné pripojenie vstupu, a to pripojenie bezpotenciálového spínača/tlačidla. V tomto prípade bude využitá funkcia vstupno-výstupného pinu s programovateľným pull-up rezistorom. Všetky funkcie je možné nájsť v technickej dokumentácii transceivera TR-52DA. Napájanie modulu prostredníctvom batérie CR2430H s vývodmi pre montáž na DPS. Schéma zapojenia je znázornená na Obr. 2.3.



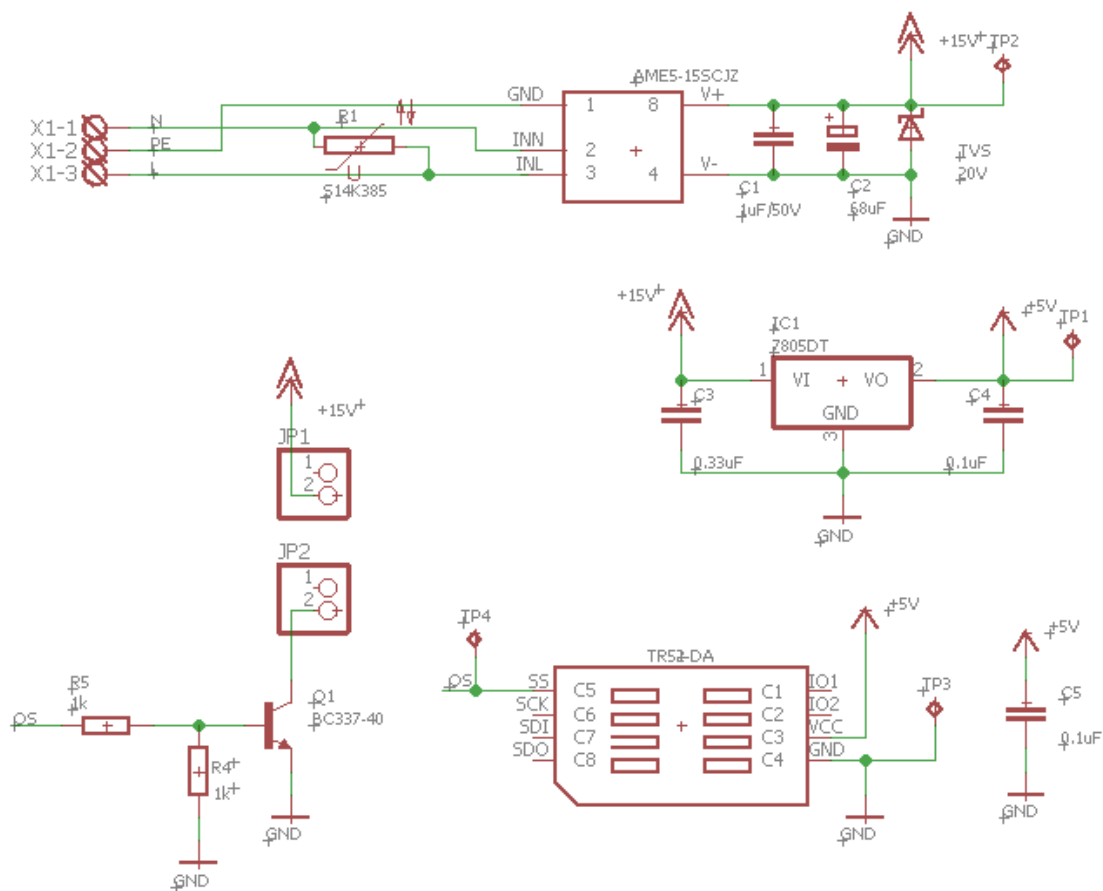
Obr. 2.3 - Schéma zapojenia vstupného modulu

## 2.3 Výstupné moduly

Na ovládanie výstupných zariadení budú slúžiť práve dva výstupné moduly. Jeden bude mať koncepciu „inteligentnej zásuvky“, druhý bude slúžiť na ovládanie svetelného zdroja.

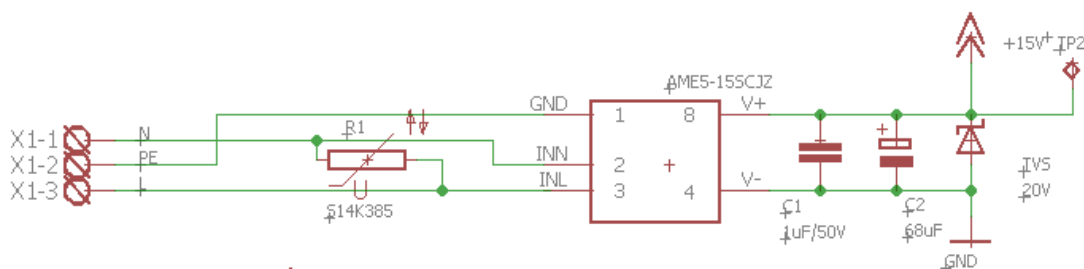
### 2.3.1 Svetelný modul

Na Obr. 2.4 je znázornená celá schéma zapojenia svetelného modulu. Zariadenie bude slúžiť jednak na bezdrôtové zapínanie a vypínanie svetla, ale zároveň aj na reguláciu jasu prostredníctvom PWM modulácie z transceivera TR-52DA. Celá schéma bude popísaná v nasledujúcich odsekoch po jednotlivých logických blokoch.



Obr. 2.4 – Bloková schéma zapojenia svetelného modulu

Svetelný modul sa skladá zo zdroja AME15-15SCJZ, napäťového regulátora L7805CDT, IQRF transceivera, ktorí tvorí komunikačné rozhranie a zároveň je riadiaci blok, svetelného bloku s LED diódami, ktorý bude ovládaný tranzistorom BC337-40.



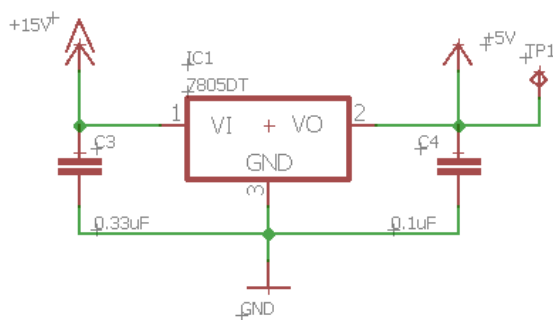
Obr. 2.5 - Blok s AC/DC meničom

Na Obr. 2.5 je blok schémy, ktorý zobrazuje zapojenie AC/DC meniča AME15-SCJZ. Výrobca podľa označenia udáva, že ide o menič z 230 V AC napätia, na 15 V DC napätie na jednom výstupe. Výkon meniča činí 5 W [29].

Tab. 3 – Prehľad odberu na jednotlivých blokoch obvodu

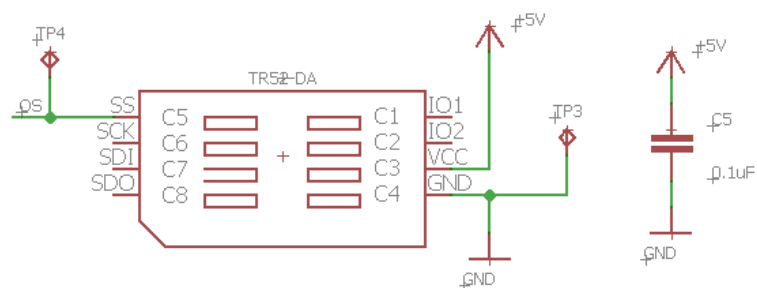
Zariadenie	LED	TR-52DA	Regulátor	Tranzistor
Odber [mW]	max. 1000	max 920	150	625

Tieto parametre sú dostačujúce pre to, aby do zbytku obvodu bola dodaná potrebná elektrická energia a napätie (viď Tab. 3). Na vstup je pripojený varistor S14K385, na výstupe sú pripojené stabilizačné kondenzátory, pre vyhladenie zákmitov výstupného napätia, a zároveň aj dióda na potlačenie prechodného napätia, z dôvodu eliminácie napät'ových špičiek a tým aj ochrany ďalších pripojených súčiastok. Z výstupu je vyvedený testovací bod kvôli overeniu veľkosti výstupného napätia. Hodnoty súčiastok vychádzajú z doporučení katalógového listu [29].



Obr. 2.6 - Regulátor napätia

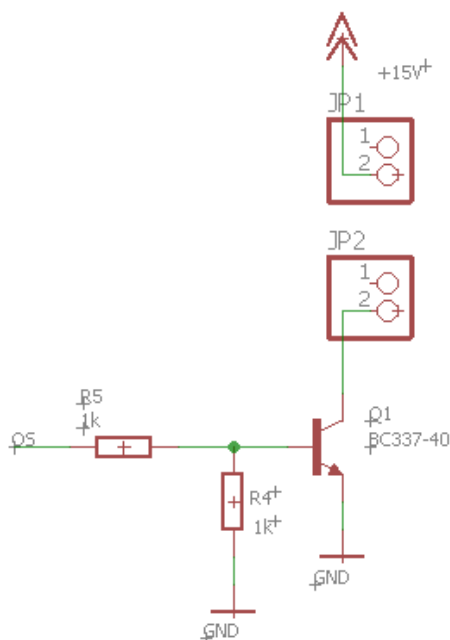
Obr. 2.6 zobrazuje zapojenie regulátora napätia do obvodu. Regulátor v obvode má úlohu zmeniť napätie 15 V z výstupu meniča na 5 V, ktoré sú potrebné na napájanie transceivera TR-52DA. Maximálne vstupné napätie, ktoré môže vstupovať do regulátora je 35 V, tento typ regulátora je teda vyhovujúci. Na vstup a výstup sú pripojené filtračné kondenzátory, ich veľkosti vyplývajú z odporúčania katalógového listu. Na výstupe je vyvedený testovací bod [33].



Obr. 2.7 - Zapojenie TR-52DA

Z Obr. 2.7 vyplýva zapojenie bloku s transceiverom TR-52DA. Z transceivera prostredníctvom PWM, bude priamo regulovaný výkon dodaný do LED diód, t.j. regulácia jasú. Transceiver bude upevnený na osem-vývodovom SIM konektore. Na vývod označený ako C3 (VCC) je privedené napájacie napätie, ktoré je odoberané z regulátora napätia LC7805CDT, vid' Obr. 2.6. Medzi VCC a GND je umiestnený kondenzátor o veľkosti 100 nF za účelom vyhladenia vstupného napätia. Z GND je vyvedený testovací bod pre overenie nulového potenciálu.

Vývod C5 (SS) primárne slúži ako Slave Select pre perifériu SPI, pričom z technickej dokumentácie transceivera vyplýva, že má viacero ďalších funkcií. V tomto prípade sa použije funkcia PWM výstupu. Na vývod C5 je pripojený bipolárny tranzistor BC337-40, ktorý bude slúžiť ako LED driver, teda PWM regulátor, vid' Obr. 2.8. Z obrázku tiež vyplýva, že LED diódy spolu s rezistorom budú vyvedené na dvoch dvojitych pinoch, na obrázku pod názvom JP1 a JP2, ďalej vid' Obr. 2.9.



Obr. 2.8 - Led driver

Led driver sa skladá z odporového deliča na vstupe tranzistora BC337-40 resp. na výstupe transceivera (vývode C5). Použité LED diódy OSW42016C1H-150mA majú

prahovú hodnotu najväčšieho prechádzajúceho DC prúdu 150 mA. Nami určený maximálny prúd LED diódami činí 120 mA, čím bola vytvorená rezerva 30 mA [32].

V najhoršom prípade má tranzistor BC337-40 hodnotu prúdového zosilňovacieho činiteľa  $hFE$  rovnú 250. Prúd, ktorý je potrebný na zopnutie diód pri prechádzajúcom prúde 120 mA bude teda [27, 28]:

$$\frac{I_c}{hFE} = \frac{120 * 10^{-3}}{250} [A], \quad (2.1)$$

kde  $I_c$  je rovný prúdu prechádzajúceho LED diódami a zároveň je to prúd vstupujúci do kolektora tranzistora,  $hFE$  je prúdový zosilňovací činiteľ. Z výpočtu vyjde hodnota 0,48 mA. To je najmenší prúd, ktorý je potrebný na zopnutie 120 mA. Táto hodnota bude vynásobená päťkrát, aby bola hodnota prúdu v každom prípade dostačujúca pre zopnutie. Dostávame prúd 2,4 mA [27].

Ďalej je potrebné priviesť do báze tranzistora vypočítaný prúd 2,4 mA. Mikrokontrolér PIC16LF1938, ktorý je súčasťou transceivera TR-52DA pracuje s využitím 3 V logiky. Na výstup teda dáva 3,3 V, čo je napätie, ktoré je na vývode C5.

Do úvahy sa musí zobrať aj úbytok napätia na tranzistore báza-emitor  $U_{BE}$ , ktoré činí 0,7 V. Aby sme dosiahli hodnotu prúdu 2,4 mA, musíme vypočítať veľkosť odporového deliča, ktorý je pripojený pred tranzistorom [27].

$$\frac{U_{MCU} - U_{BE}}{I_c} = \frac{3,3 - 0,7}{2,4 * 10^{-3}} = R_5 [\Omega], \quad (2.2)$$

kde  $U_{MCU}$  je výstupné napätie z mikrokontroléra,  $U_{BE}$  je úbytok napätia báza – emitor,  $R_5$  je veľkosť hľadaného rezistora. Z výpočtu dostaneme veľkosť odporu 1083  $\Omega$ , pre praktickosť volíme veľkosť 1 k $\Omega$ . V praxi sa často používa rovnaká hodnota rezistorov v takto zapojenom deliči, t.j.  $R_5 = R_4$ . Prúd rezistorom  $R_5$ :

$$\frac{U_{MCU} - U_{BE}}{R_5} = \frac{2,6}{1000} = I_{R5} [A], \quad (2.3)$$

kde  $I_{R5}$  je hodnota prúdu prechádzajúca rezistorom  $R_5$ . Jeho hodnota z veľkosť bude 2,6 mA. Prúd prechádzajúci rezistorom  $R_4$  dostaneme zo vzťahu:

$$\frac{U_{BE}}{R_4} = \frac{0,7}{1000} = I_{R4} [A], \quad (2.4)$$

kde  $I_{R4}$  je prúd prechádzajúci rezistorom  $R_4$ . Z výpočtu zistíme veľkosť 0,7 mA.

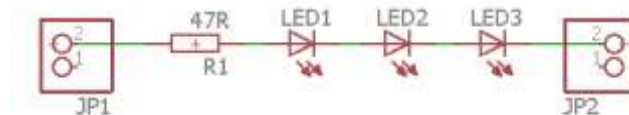
Výsledný prúd vtekajúci do báze tranzistora sa bude rovnať rozdielu prúdov  $I_{R5}$  a  $I_{R4}$ .

$$I_{R5} - I_{R4} = 2,6 - 0,7 = I_B \text{ [mA]}, \quad (2.5)$$

kde  $I_B$  sa rovná prúdu do báze. Z rovnice dostávame veľkosť prúdu 1,9 mA. Či je prúd do báze dostačujúci sa overí tak, že prúd do báze vynásobíme prúdovým zosilňovacím činiteľom, ktorý bol použitý v predchádzajúcich výpočtoch:

$$I_B * hFE = 1,9 * 250 = I \text{ [mA]}, \quad (2.6)$$

pričom  $I$  predstavuje hodnotu prúdu, ktorá môže byť zopnutá prúdom do báze  $I_B$  s veľkosťou 1,9 mA. Prúdom 1,9 mA môžeme zopnúť prúd veľkosti 475 mA, čo je skoro štvornásobok toho, čo potrebujeme.



Obr. 2.9 - Časť obvodu s LED

Keďže na piny JP1 je privedené napätie 15 VDC a je chcené, aby diódami tiekol prúd 120 mA, je potrebné dopočítať veľkosť rezistora  $R_1$ . JP2 je pripojený na kolektor tranzistora BC337-40. Z napät'ovej slučky potom vyplýva:

$$U_{cc} - U_{LED} * 3 - U_{CE} - U_{R1} = 15 - 3,2 * 3 - U_{R1} = 0, \quad (2.7)$$

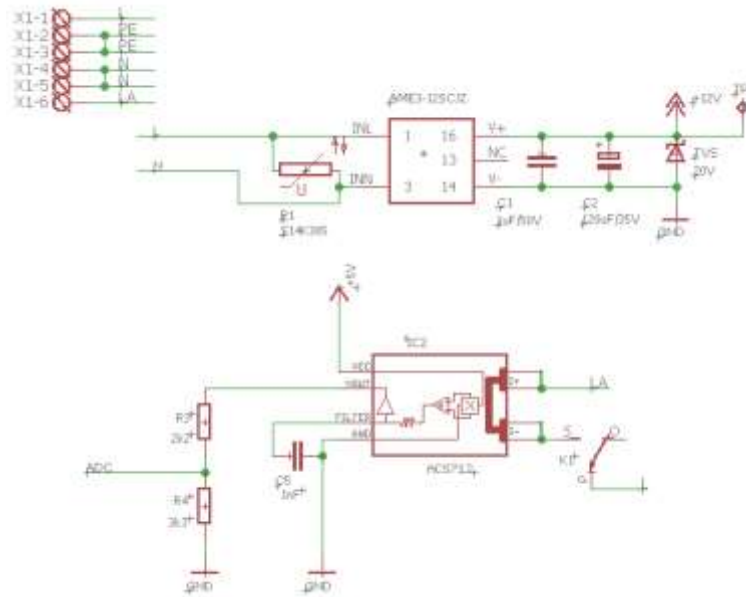
pričom  $U_{cc}$  je napájacie napätie,  $U_{LED}$  predstavuje úbytok napätia na jednej LED dióde,  $U_{CE}$  sa rovná úbytku napätia kolektor – emitor a  $U_{R1}$  je hľadaný odpor. Napätie  $U_{CE}$  sa zanedbáva, podľa údajov z katalógového listu. Po vyčíslení rovnice dostaneme úbytok napätia na rezistore,  $U_{R1} = 5,4$  V. Ďalej podľa Ohmovho zákona dopočítame veľkosť rezistora  $R_1$ :

$$\frac{U_{R1}}{I_c} = \frac{5,4}{120 * 10^{-3}} = R_1, \quad (2.8)$$

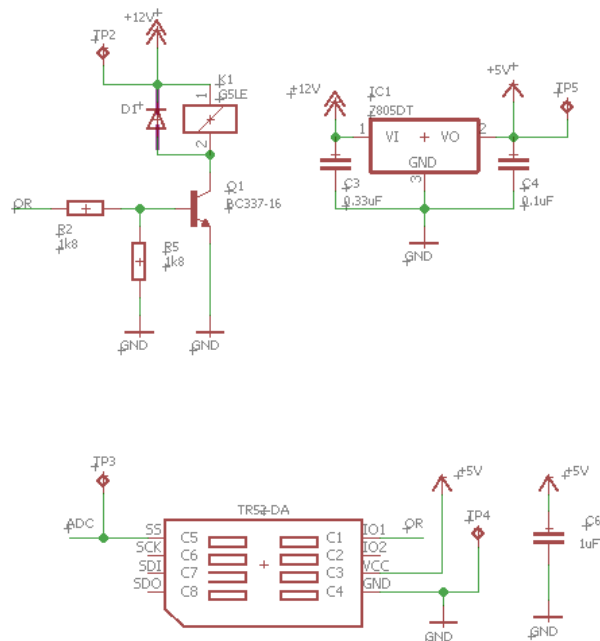
z výpočtu vychádza veľkosť  $R_1 = 45 \Omega$ , použitý bude rezistor s veľkosťou 47  $\Omega$  z dôvodu lepšej dostupnosti.  $I_c$  je prúd tečúci do kolektora a zároveň aj prúd, ktorý tečie LED diódami. Pri odpore  $R_1$  bude  $I_c = 115$  mA.

### 2.3.2 Zásuvkový modul

Na obrázkoch Obr. 2.10 a Obr. 2.11 je všeobecné schéma zásuvkového modulu, resp. prototypu „inteligentnej“ zásuvky, ktorá bude ovládateľná diaľkovo opäť s použitím IQRF transceivera TR-52DA. Zásuvka je bezdrôtovo ovládateľná, t.j. zapínateľná/vypínateľná a schopná merať spotrebu. Vstupné napätie bude 230 VAC, takisto aj výstupné.

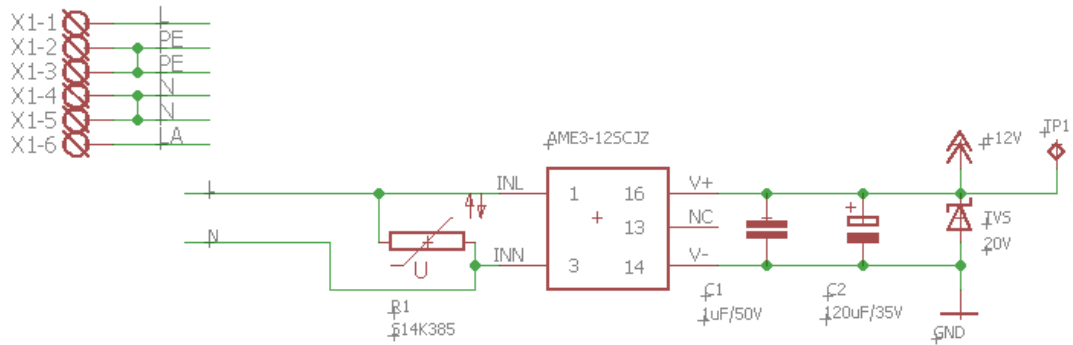


Obr. 2.10 – Bloková schéma zapojenia zásuvky 1. časť



Obr. 2.11 – Bloková schéma zapojenia zásuvky 2. časť

Celá schéma zapojenia sa skladá z meniča AME3-12SCJZ, spínacieho bloku s relé G5LE, ktoré bude spínané tranzistorom BC337-16 ďalej z napäťového regulátora L7805CDT, meracieho bloku (obvod ACS712) a transeivera TR-52DA, ktorý vytvára opäť komunikačné rozhranie a zároveň plní funkciu riadiaceho bloku. Ďalej bude schéma popísaná po samotných blokoch.

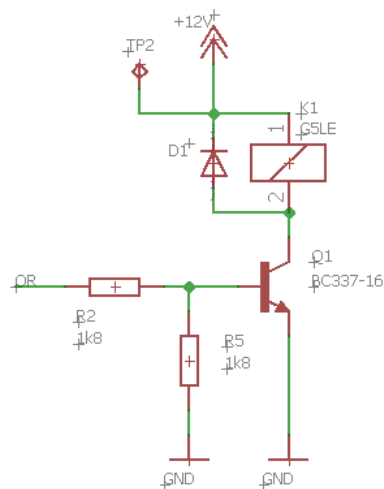


Obr. 2.12 - Blok s meničom AC/DC

Blok s AC/DC AME3-12SCJZ je v obvode zapojený podľa Obr. 2.12. V tomto prípade stačil zdroj s výkonom 3 W (pretože nenapájame nijakú energeticky náročnejšiu časť obvodu) a s výstupným napätím 12 VDC, pretože do obvodu bolo vybrané relé, ktorého napájacie napätie je práve 12 VDC. Na vstup meniča je pripojený varistor S14K385 a na výstupe kondenzátory príslušnej veľkosti podľa technickej dokumentácie AC/DC meniča. Na obrázku tiež nájdeme konektory X1-1 – X1-6, ktoré zobrazujú svorkovnicu na DPS, z ktorej bude ťahaný vstup a výstup [30].

Tab. 4 - Očakávaná spotreba jednotlivých zariadení

Zariadenie	Relé + tranzistor	ACS712	TR-52DA	L7805CDT
Spotreba [mW]	1025	15	920	189



Obr. 2.13 - Časť obvodu s relé

Obr. 2.13 zobrazuje zapojenie relé v obvode. Úlohou relé bude spínať a rozopínať fázu na výstupe, teda zapínať a vypínať zásuvku. Ide o typ G5LE-E od výrobcu OMRON a ide o 16 A relé s výkonom 400 mW. Antiparalelne k relé je pripojená dióda čím je relé chránené proti prepätiu. Podľa katalógového listu má relé odpor jadra 360 Ω. Napájacie napätie je 12 V, to znamená že podľa ohmovho zákona vypočítame prúd, ktorý prechádza cez relé a zároveň vteká do kolektora tranzistora BC337-16 [27].

$$\frac{U_{cc}}{R_c} = \frac{12}{360} = I_c [A], \quad (2.9)$$

kde  $U_{cc}$  je napájacie napätie,  $R_c$  je odpor jadra cievky a  $I_c$  je prúd pretekajúci cez relé. Z výpočtu zistíme, že prúd tečúci cez relé má veľkosť 33,4 mA. Je to zároveň prúd, ktorý budeme spínať tranzistorom BC337-16. Tranzistor má podľa technickej dokumentácie najmenšiu hodnotu činiteľa prúdového zosilnenia  $hFE$  rovnú 100 [27, 28].

$$\frac{I_c}{hFE} = \frac{33,4}{100} = I_B, \quad (2.10)$$

pričom  $I_B$  predstavuje najmenšiu možnú veľkosť prúdu, ktorým budeme spínať relé. Z výpočtu zistíme hodnotu 0,334 mA. Prakticky použijeme hodnotu päťkrát väčšiu, čiže 1,67 mA. V ďalšom kroku bude vyčíslená veľkosť odporového deliča do báze.

Použitý mikrokontrolér PIC16LF1938 dáva na výstup napätie 3,3 V, to znamená, že úbytok napätia na rezistore vypočítame podľa napäťovej slučky z Obr. 2.13. OR vodič predstavuje výstup z mikrokontroléra. Potom úbytok rezistora bude rovný [27]:

$$U_{MCU} - U_{BE} - U_{R2} = 3,3 - 0,7 - U_{R2} = 0 [V], \quad (2.11)$$

kde  $U_{R2}$  je hľadané napätie na rezistore. Zo rovnice (2.11) dostaneme hodnotu 2,6 V. Teoretická hodnota prúdu pretekajúceho rezistorom má veľkosť 1,67 mA. Potrebnú veľkosť rezistora zistíme z ohmovho zákona:

$$\frac{U_{R2}}{I_B} = \frac{2,6}{1,6 * 10^{-3}} = R_2 [\Omega], \quad (2.12)$$

$R_2$  je hľadaná hodnota odporu. Z výpočtu (2.12) zistíme veľkosť 1556,89 Ω, volíme veľkosť 1k8 Ω. Veľkosť odporu  $R_5$  v deliči necháme takú istú, tzn. 1k8 Ω. Prúd tečúci rezistorom. Skutočné hodnoty prúdov tečúcich rezistormi  $R_2$  a  $R_5$  zistíme opäť z ohmovho zákona. Pre výpočet prúdu rezistorom  $R_2$  použijeme úbytok napätia na  $R_2$ , tzn. 2,6 V. Napätie na rezistore  $R_5$  je rovnaké ako napätie  $U_{BE}$ , t.j. 0,7 V. Hodnoty napätí potom vydáme veľkosťami odporu. Z výpočtov dostaneme veľkosť prúdu  $I_{R2} = 1,44$  mA

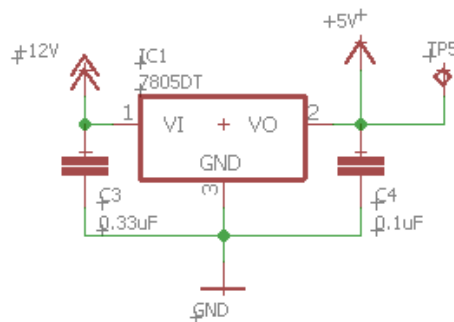
a prúd  $I_{R5} = 0,38 \text{ mA}$ . Výsledný prúd do báze tranzistora určíme ako rozdiel týchto prúdov:

$$I_{R2} - I_{R5} = 1,44 - 0,38 = I_B \text{ [mA]}, \quad (2.13)$$

vyčíslením získame skutočnú hodnotu prúdu do báze, teda prúdu, ktorým je spínané relé.  $I_B$  bude mať veľkosť  $1,06 \text{ mA}$ . Pre overenie vynásobíme  $I_B$  prúdovým zosilňovacím činiteľom  $hFE$ .

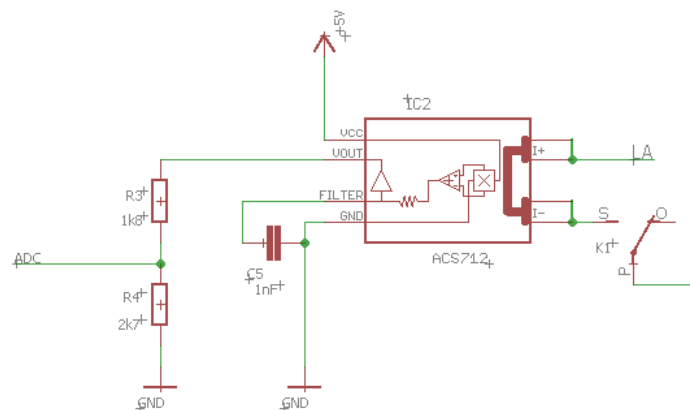
$$I_B * hFE = 1,06 * 100 = I_{Cmax} \text{ [mA]}, \quad (2.14)$$

kde  $I_{Cmax}$  predstavuje najväčší prúd relé a zároveň vtekajúci do kolektora, ktorý je možné zopnúť prúdom  $I_B$  veľkosti  $1,06 \text{ mA}$ .  $I_{Cmax}$  bude  $106 \text{ mA}$ , čo je viac ako trojnásobok oproti prúdu, ktorý budeme naozaj spínať.



Obr. 2.14 - Napät'ový regulátor

Napät'ový regulátor je začlenený ako na Obr. 2.14. Je napájaný rovnako ako relé napätím  $12 \text{ VDC}$ . Takisto ako pri svetelnom module sa jedná o regulátor L7805CDT. Hodnoty kondenzátorov na vstupe a výstupe vychádzajú z technickej dokumentácie. Na výstupe je vyvedený testovací bod [33].

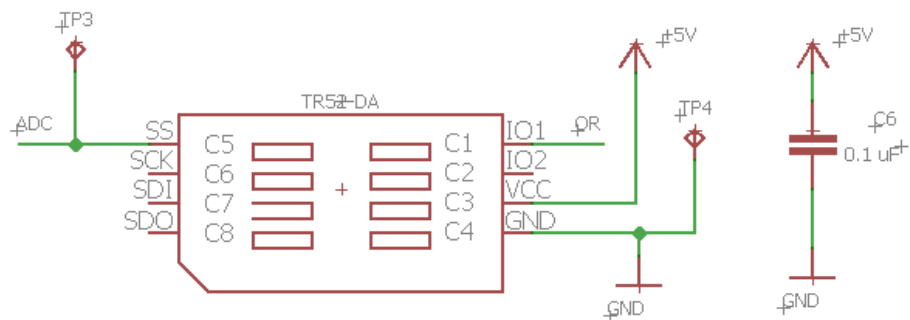


Obr. 2.15 - Zapojenie meracieho obvodu

Merací obvod ACS712 je do obvodu zaradený podľa Obr. 2.15. Obvod obsahuje halovú sondu, ktorá meria jednosmerný alebo obojsmerný AC prúd z napät'ovej slučky, ktorú vytvára spojenie I+ a I-, tak ako je uvedené na Obr. 2.15. Zapojenie zodpovedá schematicky typickému zapojeniu, ktoré je možné nájsť v technickej dokumentácii meracieho obvodu. Maximálny rozsah meraného prúdu je 20 A, pričom maximálny pretekajúci prúd nesmie prekročiť 16 A, pretože by došlo k poškodeniu iných častí obvodu, napr. relé, ktoré je stavané maximálne na 16 A. Veľkosť filtračného kondenzátora C<sub>5</sub> takisto zodpovedá odporúčanému zapojeniu. Obvod je napájaný z výstupu napät'ového regulátora (Obr. 2.14). Maximálne výstupné napätie obvodu je 5 V. Toto výstupné napätie je privedené na vstup A/D prevodníka mikrokontroléra, ktorý je súčasťou transceivera TR-52DA. Pretože mikrokontrolér pracuje z 3 V logikou, musíme umiestniť medzi výstup meracieho obvodu a vstup A/D prevodníka napät'ový delič tak, aby pri maximálnej hodnote výstupného napätia ACS712 (5 V) boli na vstupe A/D prevodníka mikrokontroléra maximálne 3 V. Veľkosti rezistorov vypočítame zo vzťahu pre nezaťažený napät'ový delič [19]:

$$U_{maxACS712} * \frac{R_4}{R_4 + R_3} = U_{maxMCU}, \quad (2.15)$$

kde  $U_{maxACS712}$  je 5 V a  $U_{maxMCU}$  3 V. Zvolíme veľkosť jedného rezistora, v tomto prípade  $R_4 = 2k7 \Omega$ . Úpravou vzťahu (2.15) sa dopracujeme k výsledku  $R_3 = 1k8 \Omega$ .

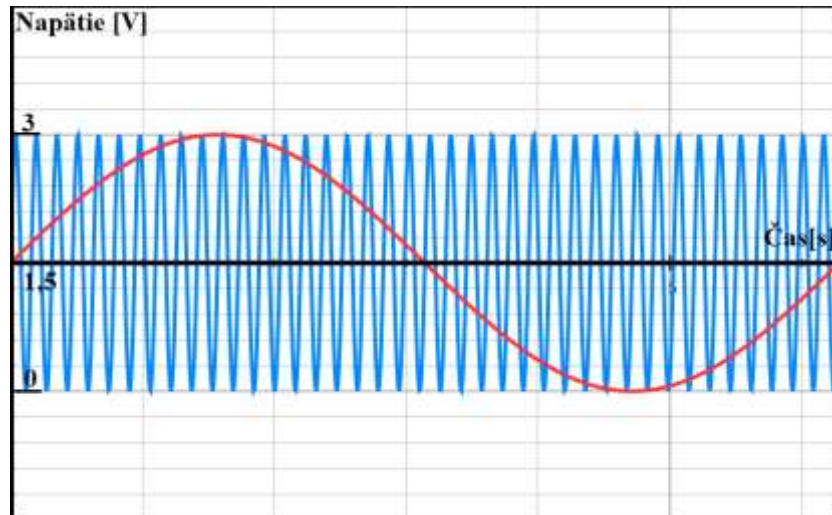


Obr. 2.16 - Sekcia s mikrokontrolérom

Mikrokontrolér je napájaný z napät'ového regulátora takisto ako merací obvod ACS712. Medzi napájacie napätie a GND je pripojený filtračný kondenzátor s veľkosťou 100 nF, pre dosiahnutie čo najhladšieho napájacieho napätia. Vývod C1 bude použitý na spínanie relé (ako klasický I/O pin) na zapínanie a vypínanie zásuvky, C5 bude slúžiť v tomto prípade ako vstup do A/D prevodníka, konkrétne A/D kanál 4 (podľa technickej dokumentácie). Z tohto vstupuje vyvedený testovací bod, ktorý slúži na overovanie správnosti merania odoberaného prúdu, ktorý tečie do záťaže a je meraný halovou sondou, ktorá je súčasťou meracieho obvodu.

## 2.4 Meranie odoberaného prúdu

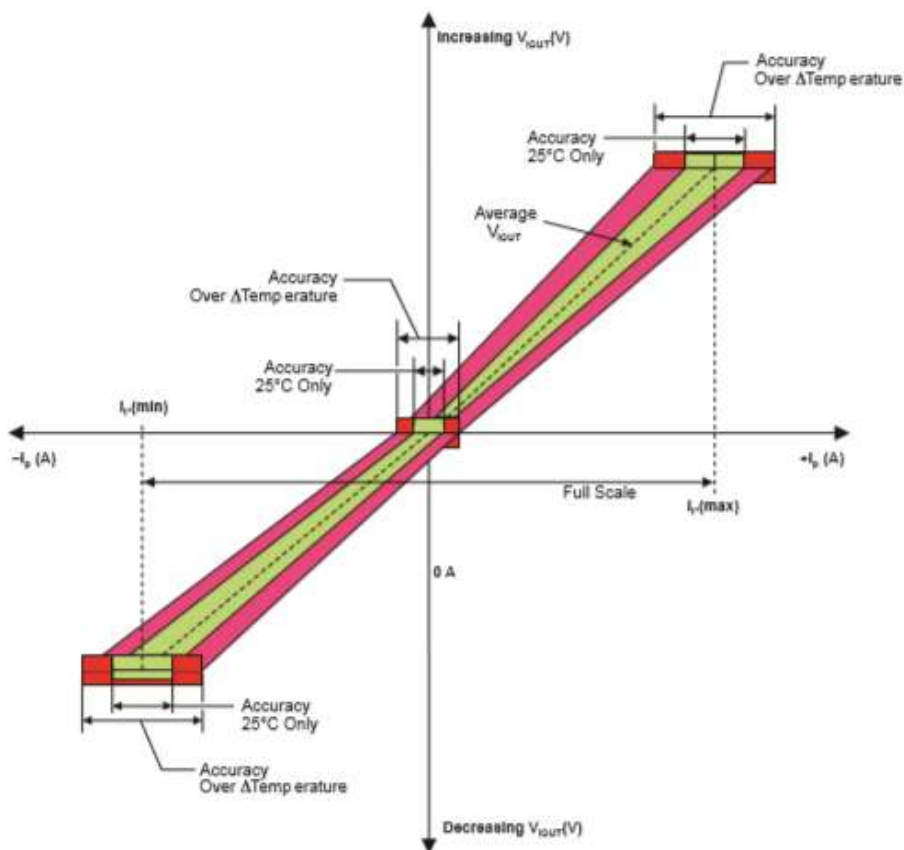
Meranie odoberaného prúdu pripojenej záťaže je realizované za použitia už niekoľkokrát spomínaného meracieho obvodu ACS712 a A/D prevodníka mikrokontroléra. Vychádza sa z faktu, že prúd prechádzajúci cez obvod bude striedavý s frekvenciou 50 Hz a má sínusový priebeh s periódou 20 ms. Priebeh prúdu a perióda AD prevodníka sú na Obr. 2.17.



Obr. 2.17 - Periódou odoberaného prúdu a vzorkovania AD prevodníka

Meranie prúdu je realizované softvérovou cestou. Prevod pretekajúceho prúdu na napätie je znázornený na Obr. 2.18. Do úvahy sa musia zobrať rozsah meracieho obvodu, rozlíšenie A/D prevodníka ako aj spôsob merania A/D prevodníkom. Nami zvolený variant meracieho obvodu je s rozsahom 20 A. Výstupné napätie obvodu je maximálne 5 V, pričom nulová hodnota sa rovná polovici napätia, pretože výstupné napätie kopíruje priebeh pretekajúceho prúdu, ktorý nadobúda maximum aj v zápornej polovici periódy. To znamená, že maximálna hodnota pretekajúceho prúdu bude v prípade  $V_{OUT} = 5$  V, ale zároveň v prípade  $V_{OUT} = 0$  V. Z toho vyplýva, že merací rozsah 20 A nebude teda na 5 V, ale len na polovicu, teda na 2,5 V.

Ďalej je nutné ozrejmiť, že výstupné napätie z meracieho obvodu redukuje napäťovým deličom t.j. rozsah sa nám zmenší v pomere deliča, teda nulová hodnota pretekajúceho prúdu na výstupe meracieho obvodu 2,5 V sa bude rovnať 1,5 V na vstupe A/D prevodníka. Rozsah sa nám teda zmenil z 20 A na 2,5 V na 20 A na 1,5 V, čím sa zmenšila aj presnosť merania. Zavedenie deliča do obvodu je nevyhnutné riešenie pri použití mikrokontroléra s 3 V logikou (keby na vstupe bolo 5 V zničili by sme ho). Meranie je zaťažené ešte jednou odchýlkou, ktorú udáva výrobca meracieho obvodu, ktorá činí maximálne  $\pm 1,5$  %.



Obr. 2.18 - Prevod odoberaného prúdu na napätie [19]

Na vstupe A/D prevodníka môže byť maximálne napätie 3 V. A/D prevodník je desať bitový, jeho rozlíšenie bude:

$$\frac{U_{AD}}{2^{10}} = \frac{3}{1024} = 2,93 \text{ [mV]}, \quad (2.16)$$

pričom získaná hodnota zodpovedá najmenšej nožnej nameranej zmene napätia v A/D prevodníku.

Ak máme rozsah 20 A na 1,5 V, potom pri zmene napätia o 2,93 mV na výstupe obvodu sa zmení prechádzajúci prúd podľa rovnice:

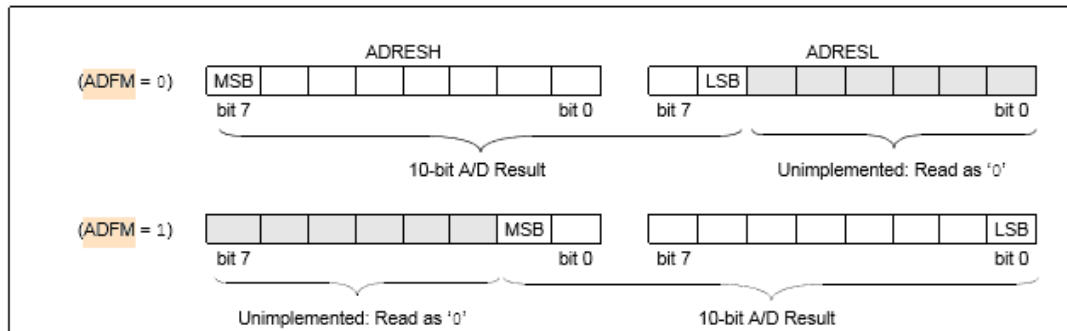
$$\frac{20}{1,5} * 0,00293 = 0,039 \text{ [A]}, \quad (2.17)$$

čo zodpovedá zmene o 39 mA.

Pre softvérové meranie bol zvolený postup detekcie vrcholových hodnôt, aby bola istota, že hodnota zmeraného prúdu, ktorá bude ďalej spracovávaná bude správna, a bude

sa jednať skutočne o maximálnu hodnotu prúdu odobieraného záťažou. Sínusový priebeh prúdu má periódu 20 ms a jeho meranie bude prebiehať približne každých 0,5 ms. Z jednej periódy bude takto získaných 40 hodnôt. Prevádzaných bude 200 meraní, teda 5 periód signálu. Princíp merania cez A/D prevodník prebieha tak, že po každom meraní sa nameraná hodnota (10 bitová) rozloží do dvoch osembitových registrov ADRESH a ADRESL, viď Obr. 2.19.

FIGURE 15-3: 10-BIT A/D CONVERSION RESULT FORMAT



Obr. 2.19 - A/D výsledné registre [19]

Z obrázku je čitateľné, že môžu byť použité dva formáty zarovnania. V našom prípade sme použili zarovnanie zľava (na obrázku prípad hore). Pri zarovnaní zľava sa naplní register ADRESH úplne, a z registra ADRESL iba dva posledné bity. Bit 7 z registra ADRESH bude predstavovať MSB (most significant bit), t.j. bude predstavovať bit s najvyššou hodnotou  $2^9$ . Naopak, bit 6 v registri ADRESL bude predstavovať najnižšiu hodnotu  $2^0$ . Spodný register (ADRESL) bude treba vymaskovať, aby bolo možné pracovať so správnou hodnotou. Je potrebné hodnotu register ADRESL vynásobiť hodnotou 11000000, pretože chceme pracovať iba s hodnotami uloženými v bitoch 6 a 7. Signál pretekajúceho striedavého prúdu v čase má dve polvlny – kladnú a zápornú. V zápornej polvlne čím je hodnota väčšia, tým viac sa vzdáľuje od hodnoty hladiny napätia 1,5 V smerom k 0 V. Ak by bola hodnota v spodnej polvlne väčšia ako v hornej, nedošlo by k prepísaniu poslednej najväčšej hodnoty, pretože hodnota v registri (aj hodnota skutočného napätia v zápornej polvlne) by bola menšia. Preto je nutné zápornú polvlnu obrátiť a vzorkovať ju ako kladnú. Rozsah registrov ADRESH a ADRESL je 8 bitov. Ak chceme hodnoty obrátiť, tak od maximálnej 8 bitovej hodnoty 255 odčítame číslo v registri. Napr. ak by bol prúd prechádzajúci záťažou 20 A, v kladnej polvlne by sa uložilo do ADRESH číslo 255 (plná hodnota). V zápornom prípade by číslo v ADRESH 0. Pri obrátení urobíme rozdiel:

$$ADRESH_{MAX} - ADRESH_{-} = 255 - 0 = ADRESH, \quad (2.18)$$

kde  $ADRESH_{MAX}$  predstavuje číslo 255,  $ADRESH_{-}$  je číslo namerané v zápornej polvlne signálu a  $ADRESH$  je hľadaná obrátená hodnota. Z výpočtu je jasné, takýmto spôsobom získame aj zo zápornej polvlne rovnaký výsledok ako z kladnej.

Číselné hodnoty oboch registrov sa zlúčia do jednej, ktorú vynásobíme najmenším rozlíšením A/D prevodníka. Ak by výsledok z oboch registrov dokopy bolo číslo 565, výsledné napätie by sme určili zo vzťahu:

$$565 * \frac{3}{1024} = U_{AD} [V], \quad (2.19)$$

pričom  $U_{AD}$  je skutočná hodnota nameraná v A/D prevodníku. Z výpočtu (2.19) zistíme namerané napätie  $U_{AD} = 1,66$  V. Pri určovaní veľkosti pretekajúceho prúdu sa najskôr zistí rozdiel oproti nulovej hodnote:

$$U_{AD} - U_{I=0} = 1,66 - 1,50 = U_{\Delta} [V], \quad (2.20)$$

kde  $U_{I=0}$  je napätie pri nulovom prechádzajúcom prúde a  $U_{\Delta}$  je rozdiel napätí, ktorý činí v tomto prípade 0,16 V. Týmto napätím vynásobíme podiel rozsahu meracieho obvodu na rozsah napätia jednej polvlny z A/D prevodníka:

$$\frac{20}{1,5} * U_{\Delta} = \frac{20}{1,5} * 0,16 = I [A], \quad (2.21)$$

kde  $I$  je veľkosť prechádzajúceho prúdu. Po vyčíslení (2.21) zistíme, že prechádzajúci prúd má rozmer  $I = 2,13$  A, pričom sa jedná o amplitúdu prúdu. Pre výpočet odoberaného výkonu potrebujeme hodnotu efektívnu, takže amplitúdu je potrebné vynásobiť číslom 0,7. Efektívna hodnota z 2,13 A je 1,49 A. V zásuvke je napätie s efektívnou hodnotou 230 VAC, pre výkon záťaže platí:

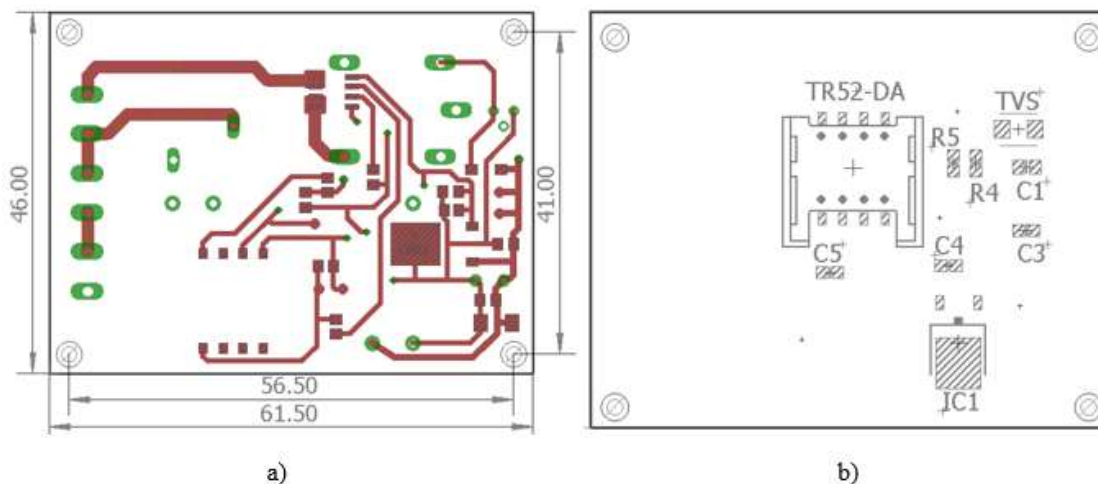
$$U_{ef} * I_{ef} = 230 * 1,49 = P [W], \quad (2.22)$$

kde  $P$  je výkon odoberaný záťažou. Z rovnice (2.22) sa dopracujeme k výkonu cca 342 W.

### 3 KONŠTRUKCIA A TESTOVANIE

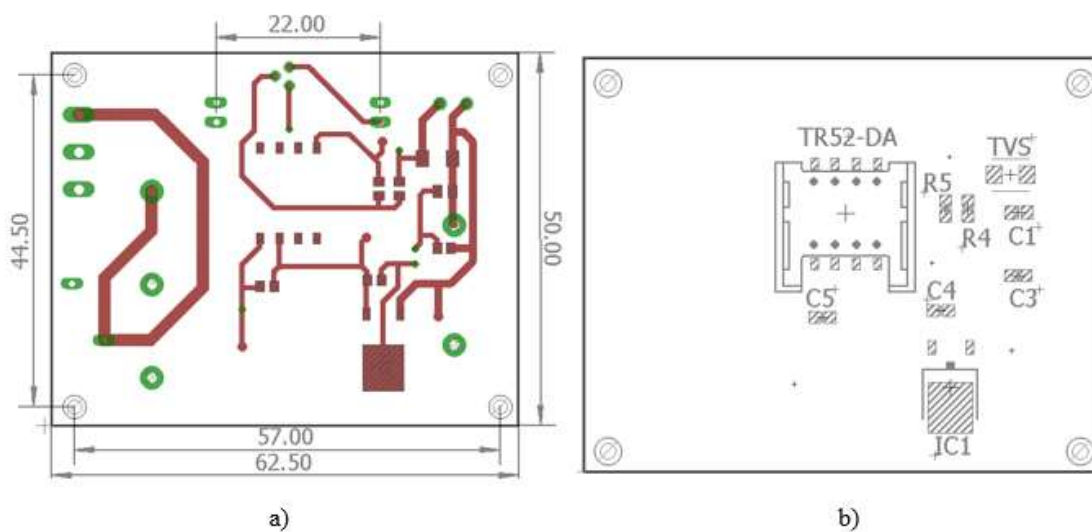
Návrh bol realizovaný prostredníctvom návrhového programu plošných spojov EAGLE. Pri rozmiestňovaní súčiastok a ich prepojení sme sa usilovali o to, aby boli výsledne DPS čo najmenšie a boli dodržané správne izolačné vzdialenosti najmä v silových častiach obvodov (medzi fázovými vodičmi) pretože moduly pracujú s napätím 230 VAC. Takisto sa dbalo na správne rozmiestnenie súčiastok, aby jednotlivé logické bloky boli správne zapojené podľa návrhu, ktorý zodpovedá schémam z kapitoly 2.

Po overení a konzultácií s vedúcim práce pánom Ing. Levekom, schválené návrhy DPS boli odoslané do firmy GATEMA, a.s., kde sme si nechali vyrobiť prototypy DPS. Medzičasom boli objednané potrebné súčiastky. Po prevzatí prototypov DPS sme porovnali so šablónami dosiek z prostredia EAGLE a následne sme dosky osadili v školskom laboratóriu. Pre stranu súčiastok (SMD) bola použitá technológia REFLOW, pre jej efektívnosť a časovú úsporu. Exoty boli osadené na opačnú stranu ručne. Na zásuvkovom module musel byť vykonaný rework, pretože jeden tranzistor bol osadený naopak. Po reworku sa začalo testovanie.



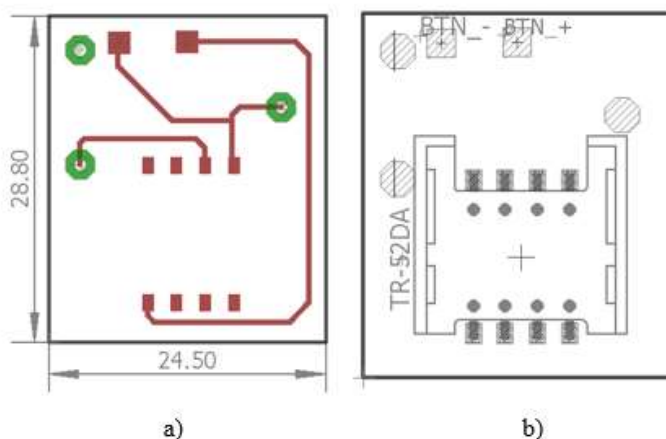
Obr. 3.1 - Zásuvkový modul

Obr. 3.1 znázorňuje DPS zásuvkového modulu.



Obr. 3.2 - Svetelný modul

Na Obr. 3.2 je návrh dosky svetelného modulu. Rozmer „22“ naznačuje skutočnú vzdialenosť pinov modulu s LED diódami, ktorý bols do modulu pripojený zvlášť.



Obr. 3.3 - Vstupný modul

Návrh vstupného modulu je na Obr. 3.3. Návrh DPS tohto modulu v porovnaní s modulmi výstupnými je výrazne jednoduchší a modul je napájaný z batérie. Tlačidlo je pripojené na terminály BTN- a BTN+. Na všetkých obrázkoch a) sú zobrazené vrstvy TOP, VIAS, PADS spolu s rozmermi DPS a obrázky b) znázorňujú vrstvy TNAMEES, TCREAM, TPLACE a na Obr. 3.3 aj vrstvu TSTOP.

Testovala sa funkčnosť hardvéru, napríklad či sa po pripojení do siete moduly nepoškodia. Test prebehol bez problémov. Následne bol do SIM konektora modulov pripojený IQRF transceiver TR-52DA, pričom sa testovalo tvorenie siete, komunikácia a výmena informácií medzi modulmi a koordinátorom v rámci siete.

Testované boli aj hardvérové vlastnosti, správna veľkosť výstupného napätia zásuvkového modulu, takisto bolo testované napätie na výstupe meracieho obvodu pomocou osciloskopu.



Obr. 3.4 - Testovanie zásuvkového modulu

Záber z testovania zariadení v laboratóriu, konkrétne z testovania zásuvkového modulu je na Obr. 3.4. Testované bolo vypínanie/zapínanie relé, ale súčasne aj hodnoty výstupného napätia meracieho obvodu pri pripojenej záťaži (priebeh signálu na osciloskope).

## 4 ZÁVER

Cieľom práce bolo teoreticky zhrnúť a preskúmať možnosti a návrhy riešenia automatizácie domácnosti a následne prakticky jednotlivé návrhy realizovať a otestovať.

Prvá časť práce sa zaoberá druhmi bezdrôtovej komunikácie, základnými vlastnosťami a rozdielmi jednotlivých bezdrôtových technológií (IQRF technológia, Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth Low-Energy a ZigBee ). Boli tu rozpracované rôzne metódy merania elektrického prúdu (rezistorom, hallovou sondou), ako aj regulácia intenzity svetiel resp. stmievanie svetiel niekoľkými spôsobmi.

V druhej časti práce je podrobne rozobraný návrh bezdrôtovej komunikácie modulov s centrálnou riadiacou stanicou s použitím IQRF technológie a zároveň kompletný návrh konkrétnych modulov: vstupného ako ovládacieho prvku pre užívateľa a dvoch výstupných – jedného na princípe „inteligentnej zásuvky,“ druhého na ovládanie svetelného zdroja. V kapitole 2 sa tiež nachádza výber konkrétnych súčiastok, finálne schémy zapojenia a popis merania spotreby el. prúdu, ktorý je odoberaný záťažou pripojenou do „inteligentnej zásuvky“.

Posledná časť práce sa venuje realizácii návrhov a ich testovaniu. Ďalej sú v nej rozpracované návrhy „puzdier“ pre výstupné moduly. Tieto puzdrá boli navrhnuté tak, aby ich bolo možné vytvoriť aditívnou technológiou – 3D tlačou. Puzdrá zakrývajú THT súčiastky, čím chránia užívateľa pred potencionálnym nebezpečím úrazu elektrickým napätím a zároveň plnia aj estetickú funkciu.

Výsledkom bakalárskej práce sú tri moduly, z ktorých užívateľ dokáže získať informácie a je schopný ovládať tieto moduly bezdrôtovo. Komunikácia je uskutočnená prostredníctvom rádiových IQRF transceiverov TR-52DA, ktoré zároveň slúžia ako ovládacie bloky jednotlivých modulov. V kombinácii s centrálnou riadiacou stanicou, ktorú vytvoril Jakub Konečný, systém užívateľovi poskytuje komplexný prehľad o jednotlivých zariadeniach a spolu s jednoduchým ovládaním celého systému vytvárajú koncept „inteligentnej domácnosti“. Svetelný modul je vhodný na osvetlenie napr. chodieb, stropných osvetlení a pod. Zásuvkový modul sa môže byť všade tam, kde užívateľ chce mať prehľad o odbere energie pripojeného zariadenia, prípadne kde je požadovaným riešením zapínanie a vypínanie spotrebiča diaľkovo.

# LITERATÚRA

- [1] Tutorials Point (I) Pvt. Ltd, Wireless Communication [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: [https://www.tutorialspoint.com/wireless\\_communication/wireless\\_communication\\_tutorial.pdf](https://www.tutorialspoint.com/wireless_communication/wireless_communication_tutorial.pdf).
- [2] IQRF Technology, Technology [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: <https://www.iqrf.org/technology>.
- [3] ŠULC, V., KUČHTA, R., VRBA, R., IQMESH Implementation in IQRF Wireless Communication Platform [online] [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.lib.vutbr.cz/stamp/stamp.jsp?arnumber=5222983>.
- [4] IQRF Technology, (DC)TR-52D Transceiver Module [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: <https://iqrf.org/weben/downloads.php?id=213>.
- [5] Microchip Technology Inc, 8-Bit CMOS Microcontrollers with LCD Driver [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001574C.pdf>.
- [6] Microchip Technology Inc, MRF49XA [online]. [cit. 2017-20-11]. Dostupné na WWW: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70590C.pdf>.
- [7] AFTANAS, Michal. *Spracovanie FSK signálov s využitím princípov softvérového rádia*. Košice, 2006. Diplomová práca. Technická univerzita v Košiciach. Fakulta elektrotechniky a informatiky.
- [8] NICCOLS, F., Frequency-shift keying (FSK) [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: [http://www.dip.ee.uct.ac.za/~nicolls/lectures/eee482f/13\\_fsk\\_2up.pdf](http://www.dip.ee.uct.ac.za/~nicolls/lectures/eee482f/13_fsk_2up.pdf).
- [9] RS Components, 11 Internet of Things (IoT) Protocols You Need to Know About [online] [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: <https://www.rs-online.com/designspark/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you-need-to-know-about>.
- [10] BRAIN, M., WILSON, T., JOHNSON, B., How WiFi Works.[online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: <https://computer.howstuffworks.com/wireless-network1.htm>.
- [11] NIELD, D., What is Bluetooth [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: <http://www.techradar.com/how-to/computing/what-is-bluetooth-1323284>.
- [12] NIELD, D., Bluetooth 5: everything you need to know [online]. [cit.2017-11-20]. Dostupné na WWW: <http://www.techradar.com/news/networking/bluetooth-5-everything-you-need-to-know-1323060>.
- [13] Zigbee Press Releases, ZigBee 3.0 Creates Single Open, Global Wireless Standard for Devices [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: <http://www.zigbee.org/zigbee-3-0-creates-single-open-global-wireless-standard-for-devices/>.
- [14] NK Technologies, Current Sensing Theory [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: <http://www.nktechnologies.com/engineering-resources/current-sensing-theory/>.
- [15] Infineon Technologies, Current Sensing Using Linear Hall Sensors [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: [https://www.infineon.com/dgdl/Current\\_Sensing\\_Rev.1.1.pdf?fileId=db3a304332d040720132d939503e5f17](https://www.infineon.com/dgdl/Current_Sensing_Rev.1.1.pdf?fileId=db3a304332d040720132d939503e5f17).
- [16] ŠVÉDA, V., Hallův jev [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW:

- [http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/projekty\\_2005/Sveda/03.htm](http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/projekty_2005/Sveda/03.htm).
- [17] ŠVÉDA, V., Otevřená smyčka [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/projekty\\_2005/Sveda/04.htm](http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/projekty_2005/Sveda/04.htm).
- [18] ŠVÉDA, V., Uzavřená smyčka [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/projekty\\_2005/Sveda/05.htm](http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/projekty_2005/Sveda/05.htm).
- [19] Allegro Microsystems, ACS712 [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>.
- [20] Beckhoff Automation GmbH, Basic principles of the dimmer function and network capability [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: [https://download.beckhoff.com/download/document/Application\\_Notes/DK9222-0310-0010.pdf](https://download.beckhoff.com/download/document/Application_Notes/DK9222-0310-0010.pdf).
- [21] SPŠ Levice, Viacvrstvové spínacie súčiastky [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: [http://www.spslevice.sk/ucebnice/elektronika/3\\_2\\_3\\_viacvrstv\\_spinacie\\_suc.htm#c\\_triak](http://www.spslevice.sk/ucebnice/elektronika/3_2_3_viacvrstv_spinacie_suc.htm#c_triak)
- [22] COLEMAN, T., The basics of phase control dimming [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné na WWW: <http://www.ecmweb.com/lighting-control/shining-light-dimming>
- [23] Texas Instruments, Digital Addressable Lighting Interface (DALI) Implementation Using MSP430 Value Line Microcontrollers [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné na WWW: <http://www.ti.com/lit/an/slaa422a/slaa422a.pdf>
- [24] ZVEI, DALI Applications [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné na WWW: <http://www.dali-ag.org/discover-dali/dali-applications.html>
- [25] Future electronics, LED drivers [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné na WWW: <http://www.futureelectronics.com/en/drivers/led-driver.aspx>
- [26] SparkFun Electronics, Pulse Width Modulation [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné na WWW: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pulse-width-modulation>.
- [27] BEZSTAROSTI, J., Tranzistor jako spínač [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné na WWW: <http://robodoupe.cz/2012/tranzistor-jako-spinac/>.
- [28] Vigan, TO-92 Plastic-Encapsulate Transistors BC337/BC338 [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné na WWW: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.210-018.2.pdf>.
- [29] Aimtec, AC-DC/DC-DC Converter AME5-CJZ [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné na WWW: <https://www.tme.eu/en/Document/eca8d1d1146408750f320338674b8fe0/ame5-cjz.pdf>.
- [30] Aimtec, AC-DC/DC-DC Converter AME3-CJZ [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné na WWW: <http://www.aimtec.com/site/Aimtec/files/Datasheet/HighResolution/ame3-cjz.pdf>.
- [31] Omron, Single-pole 16A250VAC Power Relay: G5LE-E [online]. [cit. 2018-2-21]. Dostupné na WWW: <https://www.tme.eu/cz/Document/06cb44959b3ce998f359902870796f7c/G5LE-1-E.pdf>
- [32] Optosupply, Top Power White 0.5W Chip LED [online]. [cit. 2018-3-11]. Dostupné na WWW: <https://www.tme.eu/sk/Document/0b18cece0b327b93b351b671fc584e81/OSW42016C1H-150mA.pdf>.
- [33] STMicroelectronics, Positive voltage regulator ICs [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné na WWW: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/41/4f/b3/b0/12/d4/47/88/CD00000444.pdf/files/CD00000444.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000444.pdf>.

- [34] Slideplayer, FSK spectrum spread [online]. [cit. 2018-5-10]. Dostupné na WWW: <http://slideplayer.com/slide/4957212/16/images/51/Spectrum+spread+due+to+chopping.jpg>.
- [35] IoT Agenda, Mesh network topology (mesh network) [online]. [cit. 2018-5-10]. Dostupné na WWW: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/mesh-network-topology-mesh-network>.

# ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

IoT	Internet of Things, internet vecí
IQRF	Intelligent Radio Frequency, inteligentná rádiová frekvencia
IQMESH	Intelligent MESH, inteligentná komunikačná sieť MESH
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory, elektricky mazateľná, programovateľná pamäť iba na čítanie
DPS	Doska Plošných Spojov
MCU	Micro Controller Unit, mikrokontrolér
SRAM	Static Random Access Memory, statická pamäť s náhodným prístupom
A/D	Analógovo-digitálny prevodník
FSK	Frequency Shift Keying, frekvenčné kľúčovanie
MSK	Minimum Shift Keying, frekvenčné kľúčovanie s minimálnym zdvihom
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, inštitút elektrických a elektronických inžinierov
BR/EDR	Basic Rate/Enhanced Data Rate, základná rýchlosť/zvýšená rýchlosť prenosu dát
BLE	Bluetooth Low Energy, úsporný bluetooth
DALI	Digital Addressable Lighting Interface, digitálne adresovateľné svetlárske rozhranie
PWM	Pulse-Width Modulation, impulzovo šírková modulácia
MLV	Magnetic Low-Voltage, magnetické nízke napätie
ELV	Electronic Low-Voltage, elektronické nízke napätie
SMD	Surface mount device
THT	Through hole technology
$f_1$	Nosná frekvencia signálu logickej úrovne 1
$f_2$	Nosná frekvencia signálu logickej úrovne 0
$U_H$	Hallovo napätie
$R_H$	Hallova konštanta
$U_{cc}$	Napájacie napätie

$U_R$	Napätie na rezistore
$U_{led}$	Napätie na LED dióde
$U_{BE}$	Napätie báza-emitor
$U_{MCU}$	Napätie na výstupe PIC
$U_{AD}$	Napätie zmerané A/D prevodníkom
$U_{I=0}$	Úroveň napätia pri nulovom prechádzajúcom prúde
$U_{ef}$	Efektívna hodnota napätia
$I_{ef}$	Efektívna hodnota prúdu
$I_R$	Prúd prechádzajúci rezistorom
$I_c$	Prúd vtekajúci do kolektora tranzistora
$I_B$	Prúd do báze tranzistora

# ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1 - Topológie siete mesh - a) úplná, b) neúplná [36].....	7
Obr. 1.2 – Blokový diagram IQRF transceivera [2] .....	8
Obr. 1.3 – Prepínanie oscilátorov [8].....	10
Obr. 1.4 – Ukážka binárnej FSK [7].....	10
Obr. 1.5 - FSK modulácia so spektrom [35].....	11
Obr. 1.6 – Zapojenie na spodnej strane [15].....	13
Obr. 1.7 – Zapojenie na hornej strane [15] .....	13
Obr. 1.8 – Hallov jav[16].....	14
Obr. 1.9 – Otvorená slučka[17] .....	15
Obr. 1.10 – Zatvorená slučka[18] .....	15
Obr. 1.11 - Blokový diagram ACS712 [19].....	16
Obr. 1.12 - Typické zapojenie meracieho obvodu [19] .....	16
Obr. 1.13 – Schematické značky tyristora a triaka .....	17
Obr. 1.14 – Riadenie fázy na začiatku hrany [22] .....	18
Obr. 1.15 – Riadenie fázy na konci hrany [22].....	18
Obr. 1.16 – Znázornenie rôznych stried signálu [26] .....	19
Obr. 1.17 – Logaritmickej krivka jasú svetla [23] .....	20
Obr. 2.1 – Prevádzkový model .....	21
Obr. 2.2 – Vývojový diagram procesu bondovania .....	22
Obr. 2.3 - Schéma zapojenia vstupného modulu .....	24
Obr. 2.4 – Bloková schéma zapojenia svetelného modulu .....	25
Obr. 2.5 - Blok s AC/DC meničom .....	26
Obr. 2.6 - Regulátor napätia.....	26
Obr. 2.7 - Zapojenie TR-52DA.....	27
Obr. 2.8 - Led driver .....	27
Obr. 2.9 - Časť obvodu s LED .....	29
Obr. 2.10 – Bloková schéma zapojenia zásuvky 1. časť .....	30
Obr. 2.11 – Bloková schéma zapojenia zásuvky 2. časť .....	30
Obr. 2.12 - Blok s meničom AC/DC .....	31
Obr. 2.13 - Časť obvodu s relé.....	31
Obr. 2.14 - Napät'ový regulátor .....	33

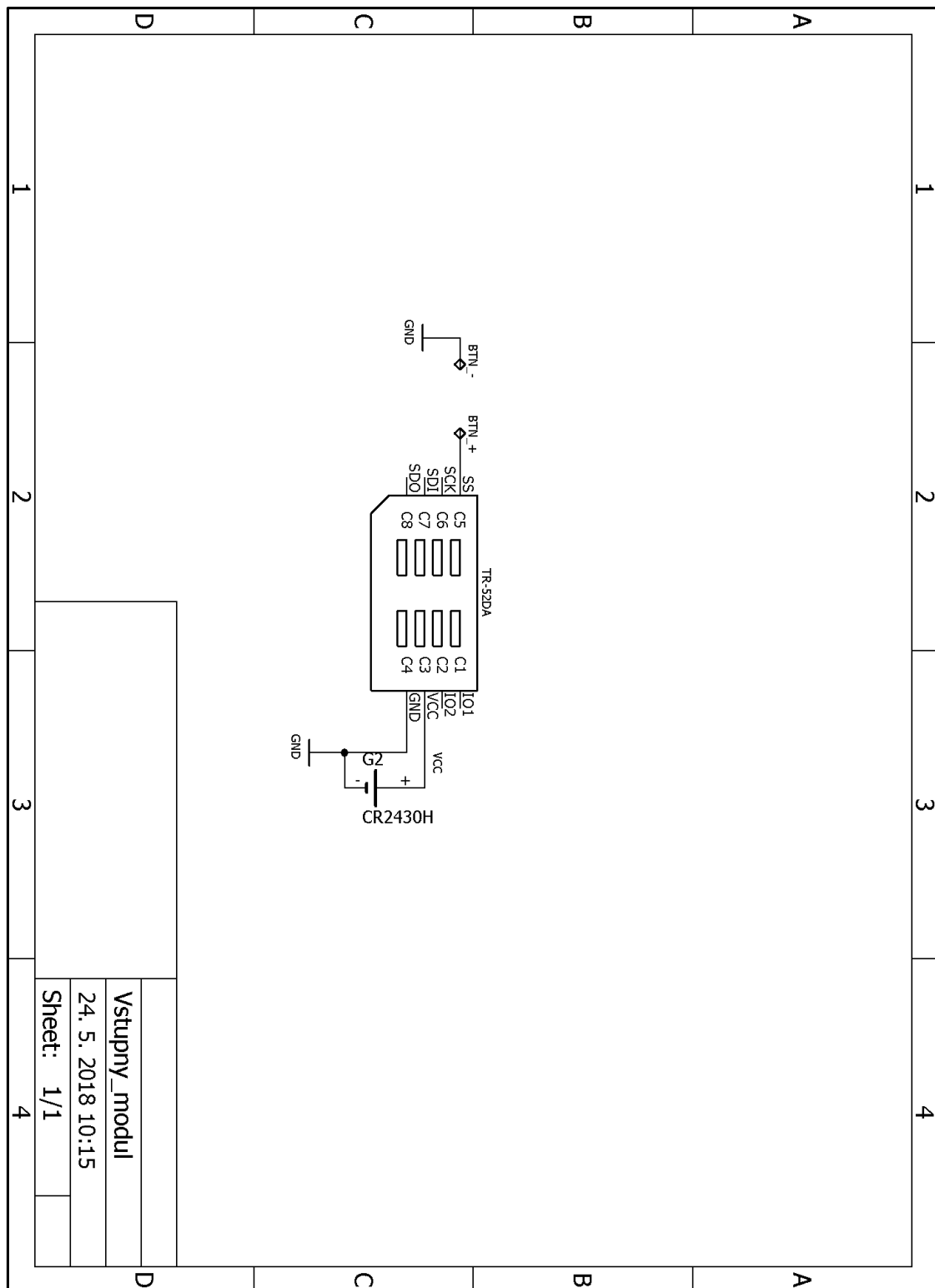
Obr. 2.15 - Zapojenie meracieho obvodu .....	33
Obr. 2.16 - Sekcia s mikrokontrolérom .....	34
Obr. 2.17 - Perióda odoberaného prúdu a vzorkovania AD prevodníka .....	35
Obr. 2.18 - Prevod odoberaného prúdu na napätie [19].....	36
Obr. 2.19 - A/D výsledné registre .....	37
Obr. 3.1 - Zásuvkový modul.....	39
Obr. 3.2 - Svetelný modul.....	40
Obr. 3.3 - Vstupný modul .....	40

## **ZOZNAM TABULIEK**

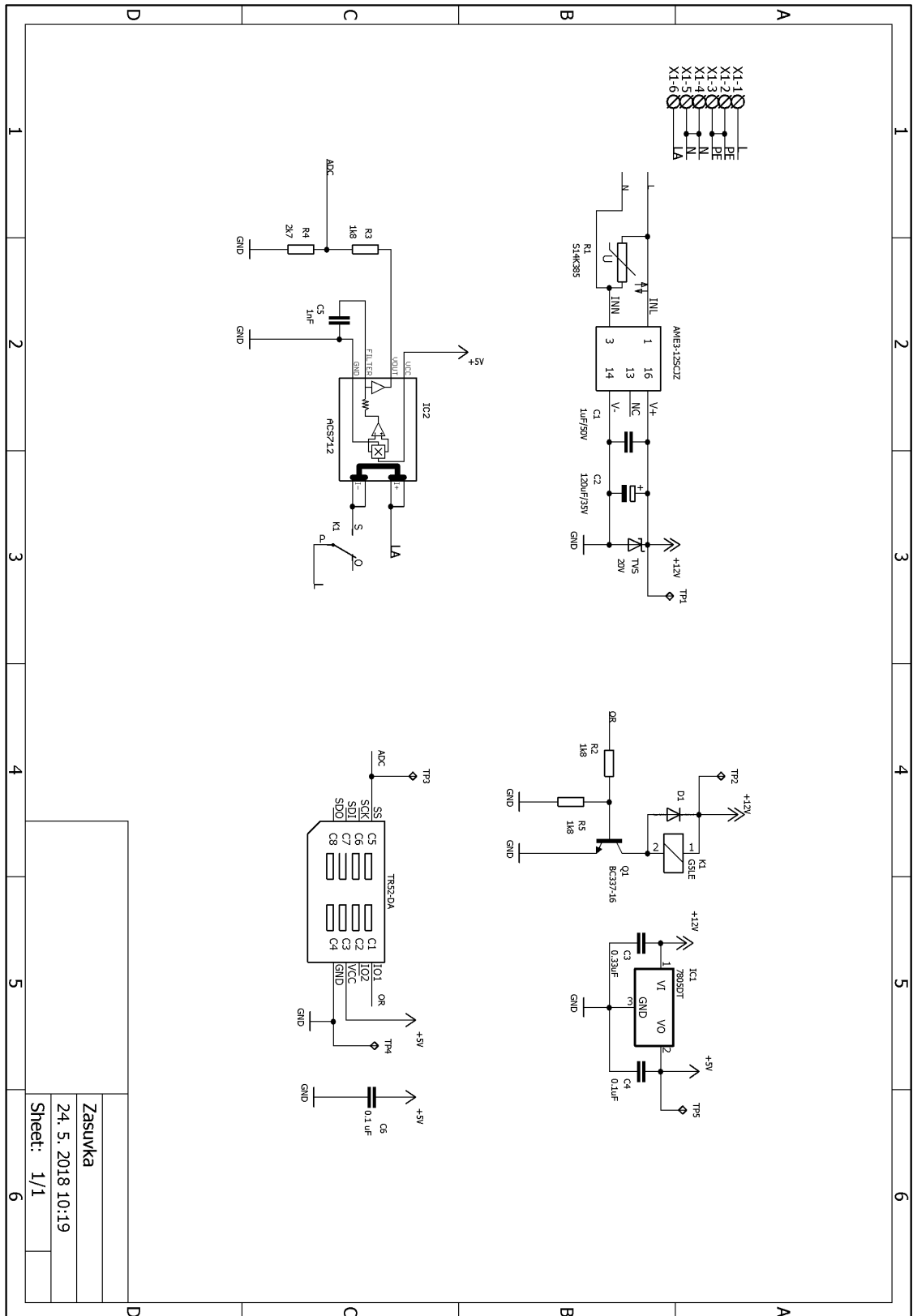
Tab. 1 – Špecifikácie TR-52DA .....	9
Tab. 2 - Prehľad príkazov pre jednotlivé moduly po nabondovaní .....	23
Tab. 3 – Prehľad odberu na jednotlivých blokoch obvodu.....	26
Tab. 4 - Očakávaná spotreba jednotlivých zariadení .....	31

# A OBVODOVÉ ZAPOJENIA

## A.1 Obvodové zapojenie vstupného modulu

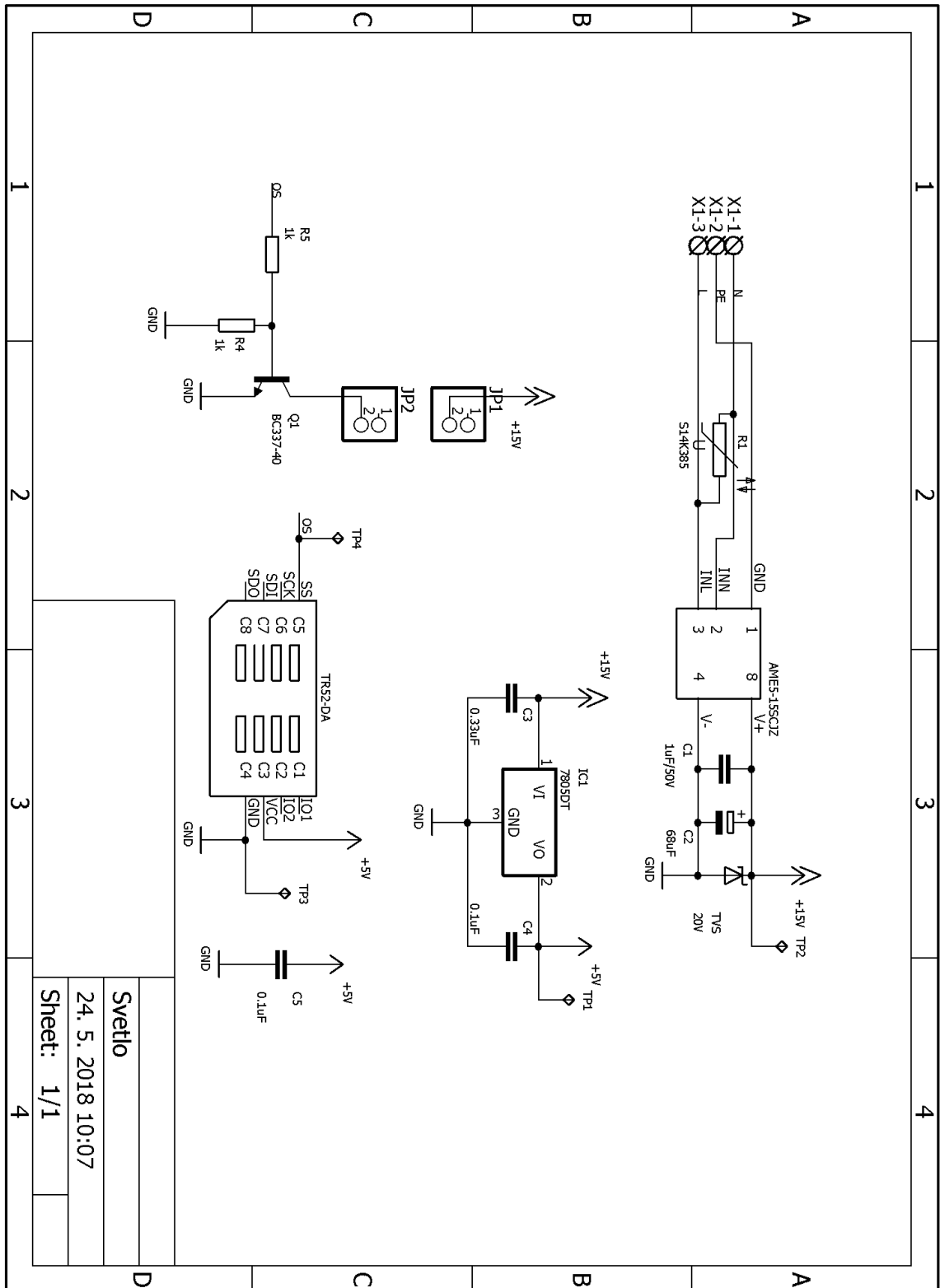


## A.2 Obvodové zapojenie zásuvkového modulu



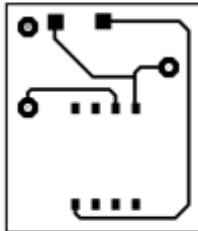
Zasuvka  
24. 5. 2018 10:19  
Sheet: 1/1

### A.3 Obvodové zapojenie svetelného modulu



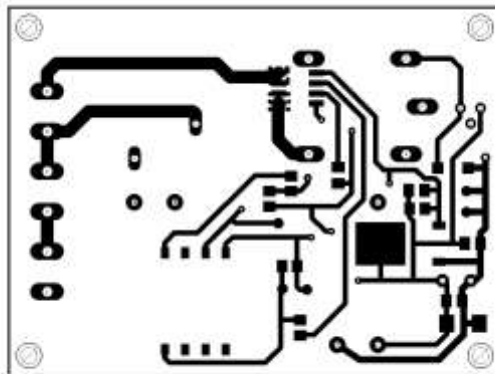
## B NÁVRH DPS

### B.1 Doska plošného spoja vstupného modulu – top



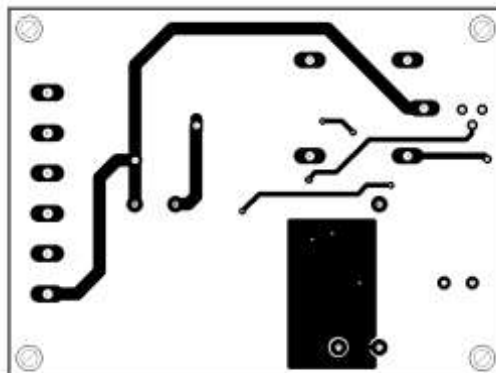
Rozmer dosky 24,5 x 28,8 [mm], mierka M1:1

### B.2 Doska plošného spoja zásuvkového modulu – top



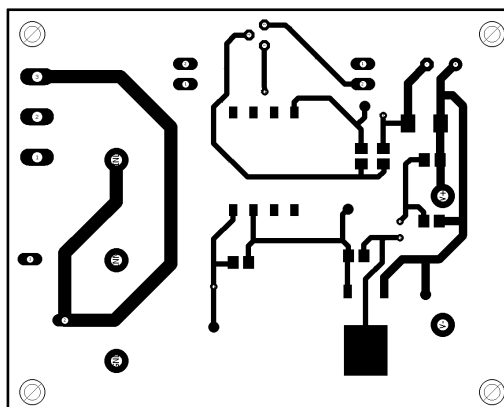
Rozmer dosky 61,5 x 46 [mm], mierka M1:1

### B.3 Doska plošného spoja zásuvkového modulu – bottom



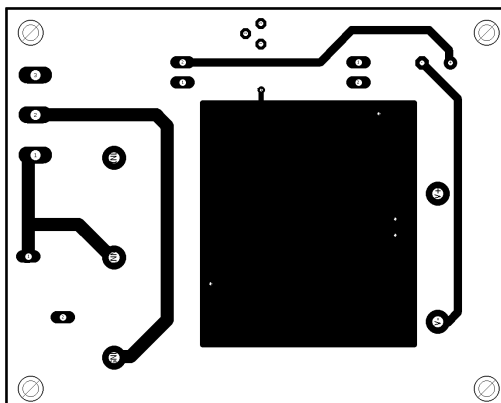
Rozmer dosky 61,5 x 46 [mm], mierka M1:1

### B.4 Doska plošného spoja svetelného modulu – top



Rozmer dosky 62,5 x 50 [mm], mierka M1:1

## B.5 Doska plošného spoja svetelného modulu – bottom



Rozmer dosky 62,5 x 50 [mm], mierka M1:1

## C ZDROJOVÝ KÓD

Zdrojový kód je ako digitálna príloha na CD.