

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍZENÍ DVOUKŘÍDLÉ BRÁNY

CONTROL SYSTEM FOR CANTILEVER GATES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

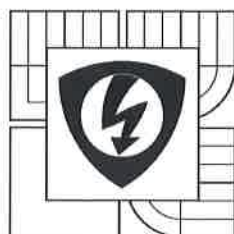
ONDŘEJ KOŽDOŇ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK BRADÁČ, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Ondřej Koždoň

Ročník: 3

ID: 155415

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Řízení dvoukřídlé brány

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout koncepci bateriově napájeného řídicího systému pro řízení dvoukřídlých bran s bezdrátovým komunikačním rozhraním.

1. Proveďte literární rešerši.
2. Navrhněte a realizujte koncepci systému jako miniaturního elektronického systému s nezbytnými vstupy/výstupy a napájením ze solárních článků.
3. Navrhněte a realizujte elektroniku systému, realizujte DPS, osadte je součástkami a oživte.
4. Vytvořte komplexní programové vybavení, které umožní ovládání a administrování systému.
5. Otestujte funkčnost a demonstруйте ji.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6
Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 8. 2. 2016

Termín odevzdání: 23.5.2016

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

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

Cílem této bakalářské práce je navrhnout koncepci bateriově napájeného řídicího systému pro řízení dvoukřídlych bran (lze použít i pro posuvné brány či garážová vrata) s bezdrátovým komunikačním rozhraním. Systém je navržen jako miniaturní elektronický systém s nezbytnými vstupy/výstupy a dobíjením ze solárních článků. Výsledkem práce jsou dvě řídicí DPS o rozměrech 5×5cm a ovládací DPS o rozměrech 2,3×4,4cm. Řídicí DPS disponuje tlačítkem pro administraci systému tj. přidání ovladačů, vymazání všech ovladačů a nastavení, módy pro ovládání brány (chod v opačném směru, pouze otevřít, pouze zavřít, otevřít jedno křídlo, zavřít jedno křídlo, zastavit bránu) a dále určení hlavního a vedlejšího křídla. Komunikace funguje na frekvenci 434MHz.

Klíčová slova

ATMega328P, DRF4432F20, Brána, I/O, DPS, PWM, MOSFET, Budič, Spínaný zdroj, Ovladač, Spotřeba.

Abstract

The goal of this bachelor's thesis is to design a battery powered control system for wireless controlling swing gate (may be used for cantilever sliding gates or garage doors). This system is designed as a small electronic system with necessary Inputs/Outputs (I/O) and an Input for charging a battery from solar cells. The result of this bachelor's thesis are two main PCBs with dimensions of 5×5cm for controlling the gate and remote controller with dimensions of 2,3×4,4cm. Main PCB allows adding more remotes, deleting all remotes and modes for the way of controlling the gate (opposite direction, open only, close only, open wing, close wing, stop the gate) and selecting Master/Slave gate. Communication works on frequency of 434MHz.

Keywords

ATMega328P, DRF4432F20, Gate, I/O, PCB, PWM, MOSFET, Driver, Power switching supply, Remote controller, Consumption.

Bibliografická citace

KOŽDOŇ, O. *Řízení dvoukřídle brány*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Řízení dvoukřídlé brány“ jsem vypracoval samostatně 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 jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 23.května 2016

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Zdeňku Bradáči, Ph.D. za metodickou a pedagogickou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Dále děkuji Ing. Romanu Wojnarovi za poskytnutí materiálů, účinnou odbornou pomoc a podporu. A také děkuji firmě Autel, a.s. za pochopení a uvolnění z pracovních povinností.

Seznam obrázků

Hlavní koncepce domovní automatizace. Zdroj [9].....	9
Mesh topologie sítě Z-Wave.....	10
Blokové schéma projektu.....	12
Blokové schéma řídicí DPS.....	13
Schéma logiky dobíjení baterie.....	15
Schéma zapojení spínaného zdroje 3,3V.....	16
Účinnost spínaného zdroje. Zdroj [10].....	17
Schéma stabilizátoru napětí na 10V.....	17
Graf potřebné chladicí plochy stabilizátoru. Zdroj [11].....	18
Schéma řízení motoru.....	19
Logika spínání budiče IR2104S. Zdroj [5].....	19
Mrtvá doba při přepínání větví. Zdroj [5].....	19
Blokové schéma ovladače.....	22
Registr řízení přerušení. Zdroj [6].....	25
Maskování bitů pro přerušení od tlačítka. Zdroj [6].....	25
Registr B. Zdroj [6].....	26
Nastavení AD převodníku. Zdroj [6].....	26
Spuštění AD převodníku od události. Zdroj [6].....	27
Spuštění AD převodníku. Zdroj [6].....	27
Nastavení časovače/čítače 0. Zdroj [6].....	27
Maskování přerušení od časovače/čítače. Zdroj [6].....	27
Nastavení přerušení z časovače/čítače. Zdroj [6].....	28
Nastavení přerušení z časovače/čítače. Zdroj [6].....	28
Nastavení spánkového režimu. Zdroj [6].....	28
Modul DRF4432F20.....	29
Datový paket modulu. Zdroj [7].....	30
Složení rámce. Zdroj [7].....	31
Arduino DUE s SPI konektorem.....	32
Programování přes sériové rozhraní UART.....	32
Prototyp ovladače (horní strana).....	38
Prototyp ovladače (spodní strana).....	38
Prototyp řídicí DPS (horní strana).....	39
Prototyp řídicí DPS (spodní strana).....	40

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Koncepce.....	9
3 Literární řešerše.....	10
3.1 Z - Wave.....	10
3.1.1 Komunikace a síťová topologie Z-Wave.....	10
3.2 Komerční zařízení pro řízení dvoukřídlych bran.....	11
4 Blokové schéma vlastního systému.....	12
4.1 Řídící DPS.....	13
4.1.1 Popis jednotlivých bloků.....	14
4.1.1.1 Dobíjení baterie.....	15
4.1.1.2 Úprava napětí na 3,3V.....	16
4.1.1.3 Úprava napětí na 10V pro budiče.....	17
4.1.1.4 Řízení motoru.....	19
4.1.2 Administrace systému.....	20
4.1.3 Energetická bilance řídící DPS.....	21
4.2 Ovladač.....	22
4.2.1 Energetická bilance ovladače.....	23
5 Procesor ATmega328P.....	24
5.1 Nastavení procesoru.....	25
5.1.1 Nastavení procesoru pro ovladač.....	25
5.1.2 Nastavení procesoru pro řídící desku.....	26
6 Bezdrátový komunikační modul DRF4432F20.....	29
6.1 Komunikace.....	30
7 Oživení / Naprogramování.....	32
7.1 Postup pájení a oživení.....	32
7.2 Programování.....	32
7.3 Stručný popis softwaru.....	33
8 Cenová kalkulace.....	34
9 Závěr.....	35
10 Literatura.....	36
Přílohy.....	37
Přílohy na CD.....	37

1 Úvod

Hlavní myšlenkou je vytvoření komplexní domovní automatizace pro monitorování a ovládání stavu periférií, kterými je vybavena moderní domácnost. Takovéto periférie mohou být například termostat pro ovládání teploty, ovládání markýz a žaluzií, detektory rozbití skla, magnetické kontakty na okna i dveře či bezdrátové řízení brány a garážových dveří.

Současný stav trhu je takový, že pro řízení dvoukřídlé brány jsou nabízeny řídicí desky, které slouží pouze k jednomu účelu a to spínání pohonu k ovládání vrat či bran.

Cílem této bakalářské práce je tedy navrhnout chytré zařízení k takovéto domovní automatizaci, které bude bezdrátově ovládat dvoukřídlou bránu s ohledem na univerzálnost a bezpečnost komunikace. Mnou vytvořené zařízení nemusí sloužit jen k ovládání dvoukřídlé brány, ale i pro ovládání posuvné brány či garážových vrat a s mírnou úpravou SW například ke spínání LED světél. Zařízení je univerzální i z pohledu napájení, které je stejnosměrných 12 až 24V. Řídicí deska je napájena z baterie a umožňuje připojení slunečního panelu pro dobíjení této baterie.

2 Koncepce



Obr 1: Hlavní koncepce domovní automatizace. Zdroj [9]

Hlavní myšlenka vytvoření domovní automatizace zahrnuje ovládání a monitorování stavu zařízení s minimálním zásahem člověka do procesu. Zapouzdření systému bude provedeno do jednoho zařízení, které bude zobrazovat stav periférií, případně upozorňovat na anomálie. Je tedy potřeba adresovatelného systému. Ovládání systému bude možné přes dálkový ovladač nebo PC či mobilní telefon. Popis bloků a součástí, které DPS obsahují jsou popsány dále v podkapitolách.

Níže bude rozebrán tento projekt, jakožto vytvoření řídicí desky a ovladače pro bezdrátové ovládání dvoukřídlé brány. Bude popsán princip funkčnosti jednotlivých částí, energetická bilance a finanční náklady na výrobu. Na konci práce jsou přiloženy schémata a návrhy DPS a veškeré zdrojové soubory pro výrobu a naprogramování těchto DPS.

3 Literární řešerše

3.1 Z - Wave

Až v době psaní této práce jsem objevil systém zvaný Z-Wave, což je bezdrátová technologie pro monitorování a řízení domu (domovní automatizace) ať už přes telefon, tablet, počítač či centrální jednotku nebo různé ovladače. Tato technologie je mezinárodně standardizována a vznikla v roce 2008 v Dánském projektu na start-upu. Přináší hlavní výhodu v možnosti propojení zařízení více výrobců. V současné době existuje na trhu již cca 1350 certifikovaných produktů a přes 325 firem z celého světa využívající tuto technologii.

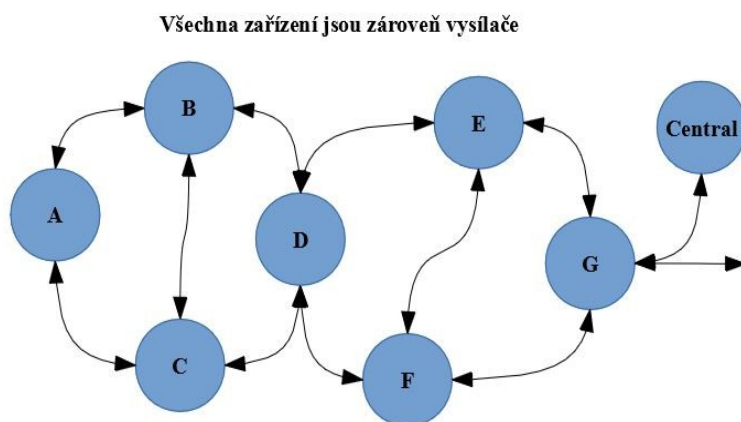
Každý výrobek musí být před získáním certifikace a pro použití v Z-Wave technologii podroben přísnému testování nezávislou zkušebnou. Vývoj a spolehlivost certifikace zastřešuje skupina výrobců Z-Wave Alliance.

Pomocí Z-Wave můžeme ovládat termostaty, osvětlení, klimatizaci, žaluzie, audio systémy. Každé zařízení je schopné přijímat, ale i vysílat řídicí příkazy. To má tu výhodu, že každé zařízení dokáže sledovat a řídit tak práci jiného zařízení.

3.1.1 Komunikace a síťová topologie Z-Wave

Komunikace probíhá na rádiových vlnách (868,42MHz v Evropě a 908,42MHz v USA) po malých datových paketech do rychlosti 100kbit/s. Datová propustnost činí 40kbits/s (starší zařízení 9,6kbits/s) což je vhodné spíše pro již zmíněné senzory. Dosah uvnitř budovy činí 30m, v otevřeném prostoru až 100m. Pokud je ovšem např. Zařízení C mimo dosah zařízení A, je možnost doručit příkaz přes zařízení B, které komunikuje se zařízením A i C. Případně systém zkouší jiné cesty, dokud vyslaná zpráva nedojde k zařízení C. To přináší výhodu v jakémsi prodloužení dosahu, ale samozřejmě musíme počítat se zpožděním než vyslaná zpráva dojde k cíli.

Nejjednodušší sítí je jedno zařízení (ovladač), které vysílá příkazy a hlavní zařízení, které řídí činnost klimatizací, termostatů apod. Další ovládací prvky lze kdykoliv přidat či odebrat a mohou to být klasické malé ovladače na klíčenku, přepínače na stěnu, aplikace na PC či chytrý telefon. V Z-Wave síti může být maximálně 232 ovládacích prvků. Taková síť má své ID a délka tohoto ID je 32bitů. Tyto bity jsou přiděleny každému ovladači po přidání do sítě. Každý ovladač má své unikátní ID o délce 8bitů. Ve veškerých ovládacích zařízeních samozřejmě musí být adresa sítě stejná, aby mohla komunikace probíhat.



Obr 2: Mesh topologie sítě Z-Wave

3.2 Komerční zařízení pro řízení dvoukřídlých bran

Protože se tato práce zabývá řízením dvoukřídlé brány, níže uvedu příklady dostupných zařízení pro řízení bran s podobnými parametry (napájení 12-24V a spínaný výkon do 100W).

a) MC824H

Řídící jednotka Nice pro 2 pohony křídlové brány:

- napájení pohonů 24V s mikroprocesorovým řízením otáček jednotlivých motorů
- funkce pomalého rozjezdu a dojezdu.
- vestavěné zařízení ošetřující náraz na překážku při otevíracím i zavíracím cyklu
- ochrana IP 55 (částečně odolné proti prachu a chráněné proti tryskající vodě ze všech úhlů)
- vestavěný mód otevírání jen jednoho křídla pro pěší.

Cena: 5 335 vč. DPH

b) PROTECO Q 54

Řídící jednotka pro pohony napájené 12V:

- řídicí jednotka ovládá 12V pohony pro dvoukřídlové nebo jednokřídlové brány.
- elektronika pracuje ve spolupráci s koncovými spínači.
- možnost nastavení prodlevy automatického zavření, doby otevření jednoho křídla (pro pěší)
- proudové nastavení 0,3-10A, ochrana proti přivření překážky a její nastavení
- výstup pro napájení radiového přijímače (např. RX 4331)
- napájení ochranných fotobuněk, majáku
- možnost připojení záložního akumulátoru až 7Ah.
- ochrana proti přepólování, přetížení a přepětí.

Cena: 4 659 vč. DPH

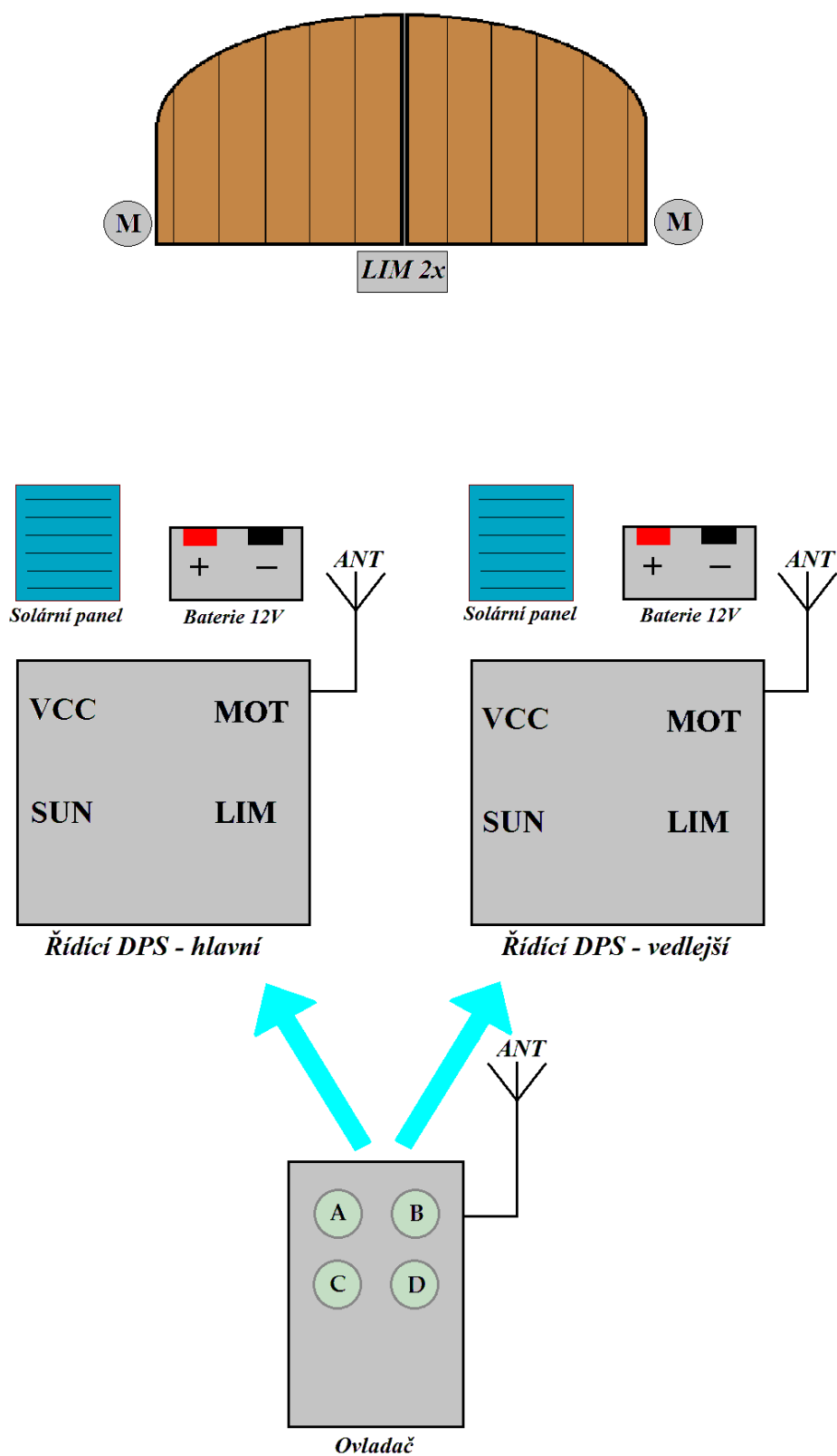
c) START-S10

Řídící jednotka pro brány 12V a 24V:

- vestavěný přijímač schopný naučit se libovolný pevný kód na frekvenci 433,92 Mhz.
- LED displej pro snadnější nastavení disponuje přehledným nastavením, automatickým vyhledáváním koncových poloh.
- samozřejmostí je částečné otevření a také zpomalení v koncových polohách, plynule lze nastavit, kdy a jak moc má pohon zpomalit.
- možnost nastavení chování při detekci překážek a také sílu, proč a kdy má jednotka vyhodnotit překážku.
- Jednotka je dodávána bez transformátoru a bez krabice, lze dokoupit.

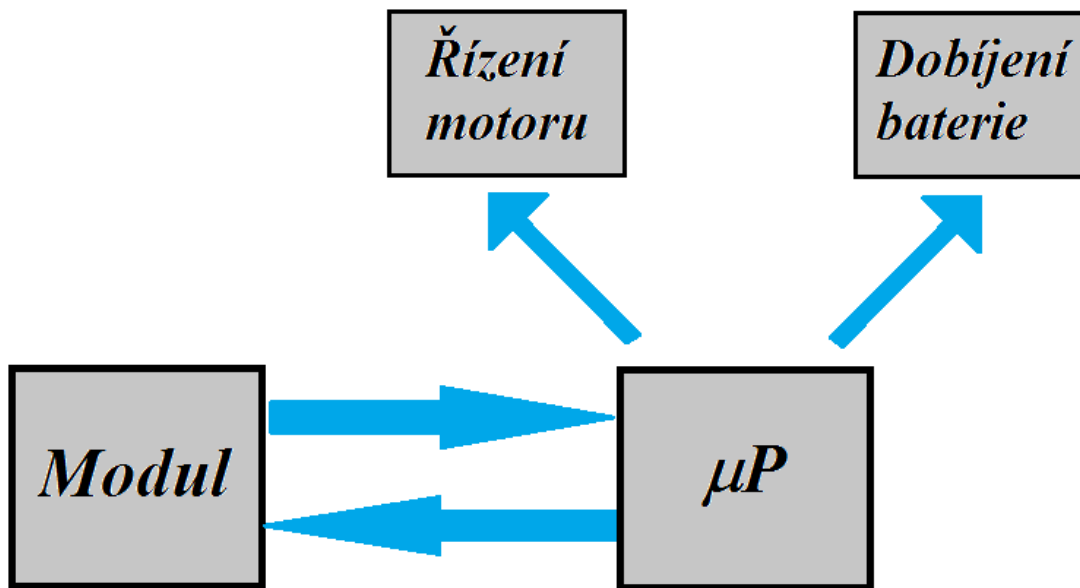
Cena: 3 594 vč. DPH

4 Blokové schéma vlastního systému



Obr 3: Blokové schéma projektu

4.1 Řídící DPS



Obr 4: Blokové schéma řídicí DPS

Jedním z cílů této bakalářské práce je vytvořit miniaturní řídicí DPS, které budou umožňovat bezdrátově komunikovat s ovladačem a řídit otevírání/zavírání dvoukřídlé brány pomocí stejnosměrného motoru na 12 až 24V. Do hlavní koncepce domovní automatizace byla uvažována obousměrná komunikace a zpětné hlášení o stavu brány. To ku příkladu znamená, že až se brána začne zavírat, uživateli se na ovladači na chvíli rozsvítí LED dioda. Z tohoto důvodu je v ovladači použit komunikační modul o jehož kvalitách bude napsáno níže. Tato řídicí deska je univerzální i co se týče napájení. To je provedeno olověnou baterií o napětí 12V, která je dobíjena malými solárními panely. Mnou použitý solární panel dokáže dodat zkratový proud 300mA. To by znamenalo, že při slunečném dni by se baterie dokázala nabít na plnou kapacitu za 9 až 10 hodin, pokud bychom použili baterii s kapacitou např. 2,6Ah. Energetická bilance je rovněž popsána níže. Řídící deska umožňuje připojení Wi-Fi modulu pro otevírání brány např. přes mobilní telefon (není řešeno v tomto projektu) a konektor pro připojení kompasu, kterým lze zjišťovat úhel otevření brány (není řešeno v tomto projektu).

Jádrem řídicí desky je mikroprocesor ATmega328P a komunikační modul DRF4432F20. Dále je pak řídicí deska osazena budiči IR2104S pro MOSFET tranzistory IRF8313, stabilizátorem s výstupem 10V pro napájení budičů, spínaným zdrojem s výstupem 3,3V pro napájení procesoru a komunikačního modulu.

Na svorkovnicích nalezneme vstupy pro napájení z baterie či jiného 12-24V SS zdroje, vstup pro solární panel, vstup pro koncový spínač či snímač dorazu a vstup pro připojení SS motoru.

Komunikační modul musí být trvale v přijímacím módu. V tomto stavu je spotřeba 18mA. Z hlediska ochrany je implementováno snímání proudu motorem na dvou paralelně zapojených výkonových rezistorech o hodnotě 0.1R/2W. Velikost procházejícího proudu motorem se průměruje a porovnává se s maximální možnou hodnotou. Maximální velikost proudu lze nastavit parametrem v programu a je třeba ho nastavit vždy podle typu a hmotnosti brány. Průměrování proudu je důležité z hlediska velikosti startovacího proudu, který u menšího motoru může dosahovat hodnot jednotek ampér. Tyto hodnoty by mohly lehce překročit trvalou maximální povolenou hodnotu a brána by se tedy nemusela začít vůbec otevírat/zavírat.

V tomto paralelním složení rezistorů se proud rozdělí a rezistor tedy není proudově namáhán. Například pro trvalý proud 5A bude úbytek napětí na paralelním zapojení rezistorů následující

$$U_r = R * I = 0,05 * 5 = 0,25 V$$

Z čehož si můžeme vypočítat výkon na rezistorech ze vztahu

$$P = U * I = 0,25 * 5 = 1,25 W$$

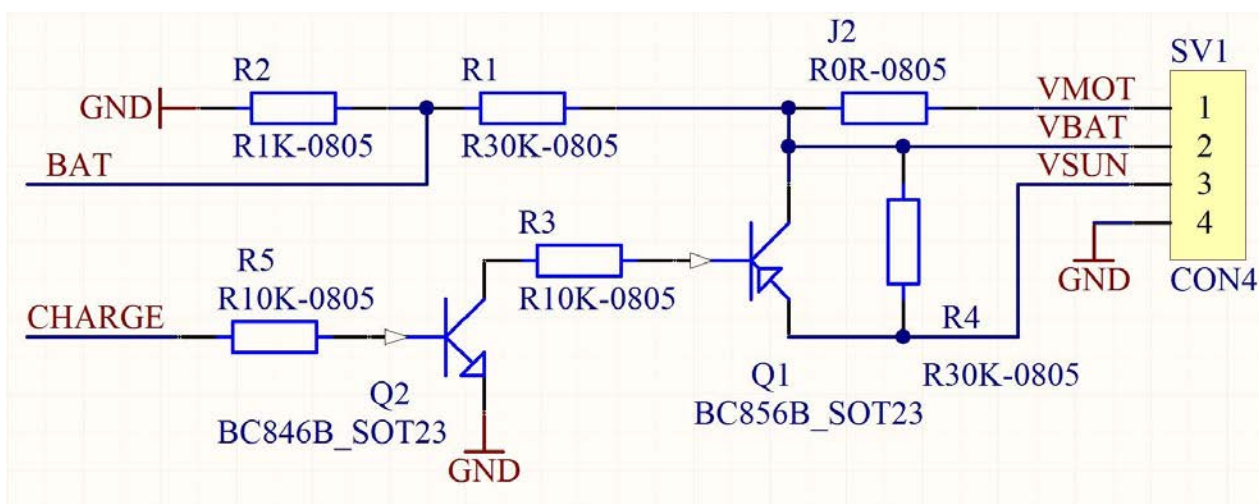
Jak vidíme výkonová rezerva činí asi 2,75W. Při testování stávajícího motoru, který je použit na bráně se hodnota trvalého proudu pohybovala okolo 500mA. Tato hodnota je individuální a záleží na hmotnosti brány a typu použitého motoru. Je však zřejmé, že ani 10x větší proud by nebyl z hlediska dimenzování problém. Při dorazu brány se hodnota proudu prudce navýší, ale motor se ihned zastaví při překročení povolené meze.

Tato DPS je ještě vybavena konektorem pro připojení koncového spínače dorazu (LIM), kterým je možno motor zastavit. Dorazy jsou zpravidla umístěny v místě uložení motoru.

4.1.1 Popis jednotlivých bloků

V těchto podkapitolách jsou uvedeny principy funkcí jednotlivých bloků ze schématu řídicí desky. Kompletní schéma je přiloženo v části „přílohy“ společně s návrhy DPS a programovým vybavením. O bezdrátovém modulu DRF4432F20 a procesoru ATmega328P bude samostatná kapitola níže.

4.1.1.1 Dobíjení baterie



Obr 5: Schéma logiky dobíjení baterie

Jelikož je celý systém napájený z baterií, je třeba baterie průběžně dobíjet solárními články a to tak, aby byla zajištěna ochrana baterií proti přebíjení či vybití.

Funkčnost tohoto obvodu zajišťuje dvojice tranzistorů. Pokud povolíme pin na procesoru (CHARGE) přivede se napětí na bázi tranzistoru Q2 a ten se otevře. Otevřen je i tranzistor Q1, protože je typu PNP a je stále připojen na solární panel. Potom tedy proud ze solárních článků teče přes tranzistor Q1 do baterie.

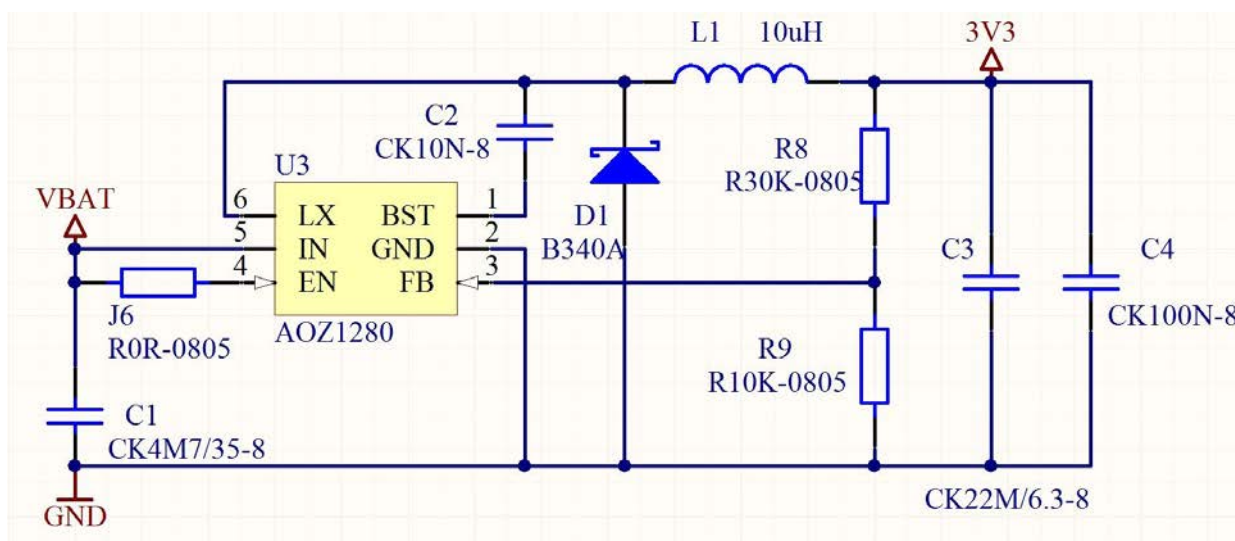
Dále je zde napěťový dělič R1 a R2, pomocí kterého můžeme A/D převodníkem v procesoru měřit napětí na baterii a v případě plného nabití baterie zavřít tranzistor Q2 a zastavit tak dobíjení baterie. Hodnoty odporů v napěťovém děliči jsou zvoleny s určitou rezervou pro případ, že napájecí napětí bude 24V. Plně nabitá baterie může mít totiž napětí až 26V. A/D převodník v procesoru má referenční napětí 1,1V.

Rozsah A/D převodníku při 26V bude:

$$BAT = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} * U_{bat} = \frac{(1k)}{(30k + 1k)} * 26 = 0,8387 V$$

Plný rozsah A/D převodníku by byl při napětí 34,1V. Takový stav, ale už z principu nemůže a nesmí nastat.

4.1.1.2 Úprava napětí na 3,3V



Obr 6: Schéma zapojení spínaného zdroje 3,3V

Čip AOZ1280 je vysoce účinný spínaný zdroj napětí, který na svém výstupu dokáže dodat 1,2A. Pracuje se vstupním napětím v rozsahu 3 až 26V (absolutní maximum 30V). Účinnost dosahuje 95% přičemž výstupní napětí může být sníženo až na 0,8V.

Má v sobě zabudované ochrany proti zkratu a vnitřní soft-start, aby výstupní napětí nepřekročilo při zapnutí obvodu požadovanou úroveň. Tento čip dokáže pracovat při provozních teplotách v rozsahu -40 až +85°C přičemž obsahuje teplotní ochranu, kdy se dokáže tento obvod vypnout. To nastane v případě, že ztrátová teplota čipu překročí 150°C. Tím se vypne vnitřní řídicí obvod NMOS zpět se automaticky zapne při teplotě menší než 100°C

Možné aplikace tohoto spínaného zdroje jsou ve spotřební elektronice jako jsou DVD mechaniky, či pevné disky nebo LCD monitory.

Princip funkce je takový, že na vstup se přivede plné napětí spínacím tranzistorem do cívky. Proud se pomalu zvětšuje a akumuluje se do magnetického pole. Potom se vstupní napětí přeruší a energie akumulovaná cívkou se přesune do výstupního kondenzátoru. Střídou zapnuto/vypnuto se řídí výstupní napětí. Ztráty jsou tedy malé a účinnost se blíží 95%. Hlavní výhodou je ta, že vstupní proud je nižší než výstupní.

Výstupní napětí se určí dle následujícího vzorce:

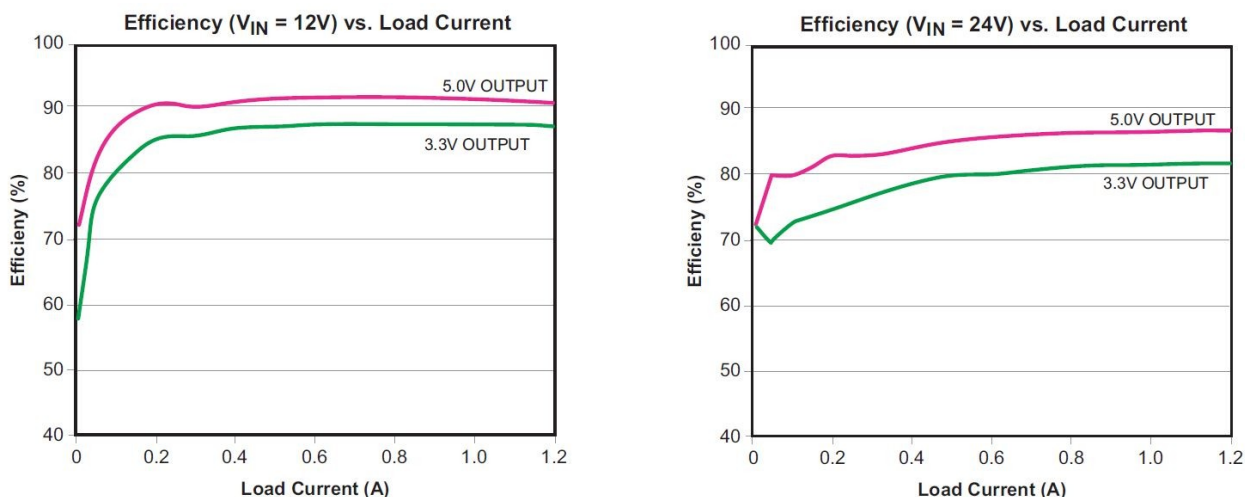
$$U_{outsp} = 0,8 * \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

V našem případě je to tedy:

$$U_{outsp} = 0,8 * 1 + \left[\frac{(30\text{ k})}{(10\text{ k})}\right] = 3,2\text{ V}$$

Pár zásad při návrhu spínaného zdroje na plošný spoj:

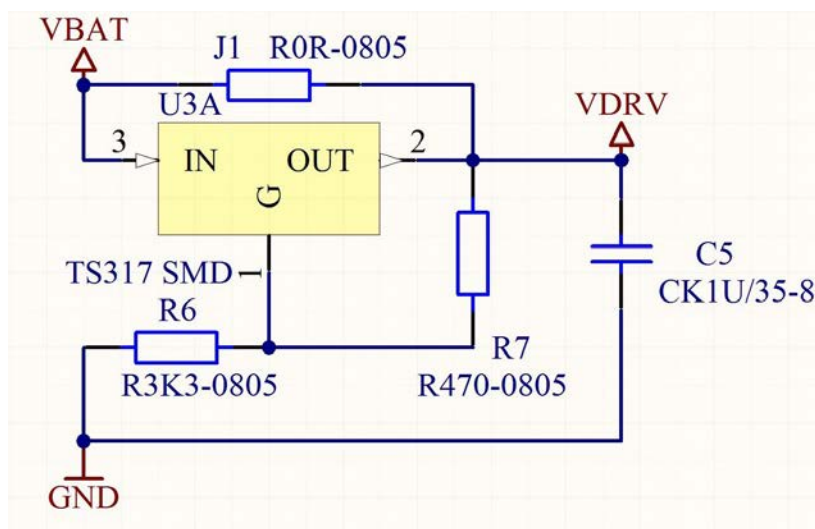
- 1) Vstupní kondenzátor by měl být připojen čím jak nejbližší mezi piny V_{in} a GND.
- 2) Cívka by měla být připojena co možná nejbližší mezi pin LX a výstupní kondenzátorem.
- 3) Délka vedené cesty Schottkyho diody z pinu LX na GND by měla být co nejkratší, ale široká.
- 4) Zpětnovazební odpory a kompenzační prvky připojujeme co nejbližší k čipu.
- 5) Je vhodné při návrhu DPS využít vylití mědi (Polygon) na GND.



Obr 7: Účinnost spínaného zdroje. Zdroj [10]

Z obrázku je patrná účinnost spínaného zdroje, která se reálně pohybuje mezi 80-90%

4.1.1.3 Úprava napětí na 10V pro budiče



Obr 8: Schéma stabilizátoru napětí na 10V

Pokud budeme využívat napájecího napětí větší než 20V, musíme osadit plošný spoj stabilizátorem, protože MOSFET tranzistory dovolují napětí mezi GATE a SOURCE maximálně $\pm 20V$. V opačném případě můžeme použít propojku J1, která propojí napětí ze svorkovnice VBAT na vstupy budičů pro tranzistory.

Použitý stabilizátor TS317SMD je tří vývodová SMD součástka, která umožňuje dodat výstupní proud 500mA (v případě použití pouzdra TO-252) a napětí v rozmezí 1,25 až 37V. Nechybí ani teplotní ochrana a omezení proudu. Jeho zapojení je velmi jednoduché a v podstatě jsou potřeba pouze dva rezistory pro nastavení výstupního napětí, které se vypočítá dle následujícího vzorce:

$$U_{outst} = 1,25 * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{adj} * R_2 \quad (I_{adj} < 100\mu A)$$

V tomto projektu jsou rezistory počítány pro výstupní napětí stabilizátoru na 10,5V. To z jednoho důvodu. Plně nabitá baterie má sice 12-13V, ale pokud napětí klesne pod 12V, což by bylo vstupní napětí pro stabilizátor, na výstupu stabilizátoru by žádné napětí nebylo a tudíž by nám nefungovaly budiče a celé řízení motorů.

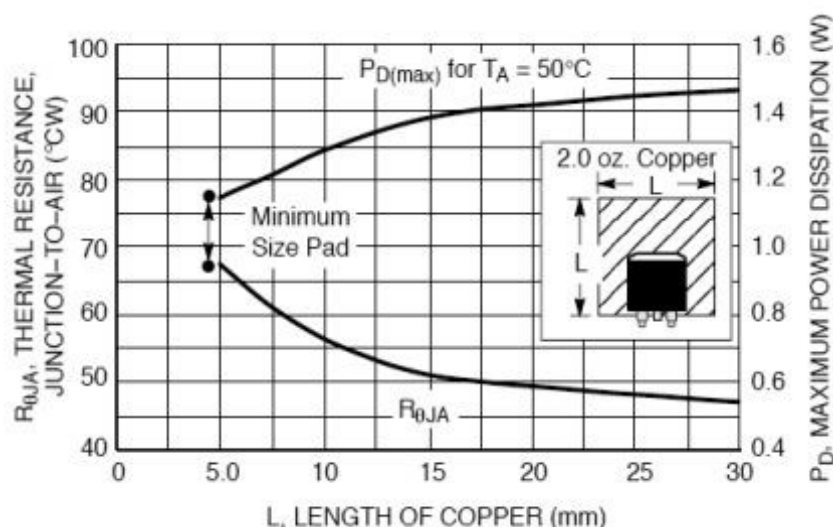
$$U_{outst} - 1,25 = \frac{1,25 * R_2}{R_1}$$

$$(U_{outst} - 1,25) * R_1 = 1,25 * R_2$$

$$R_2 = \frac{(U_{outst} - 1,25) * R_1}{1,25} = \frac{(10 - 1,25) * 470}{1,25} = 3\,290\ \Omega$$

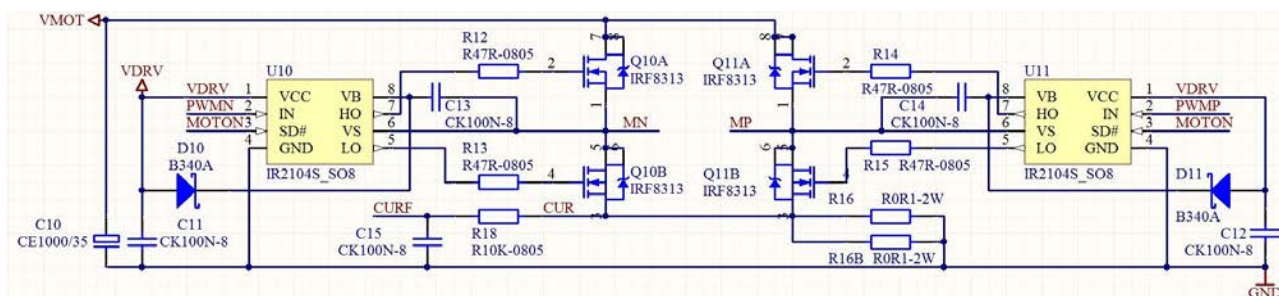
Nejbližší odpovídající rezistor, který lze zakoupit je 3 300Ω.

Pro zmenšení výkonových ztrát je potřeba mít na DPS dostatečně velkou plochu na výstup stabilizátoru. Podle grafu je to alespoň 5x5mm. Důvod použití stabilizátoru je jednoduché zapojení, celková malá velikost a malá spotřeba napájení budičů pro MOSFET tranzistory, která je max. 300μA.



Obr 9: Graf potřebné chladičské plochy stabilizátoru. Zdroj [11]

4.1.1.4 Řízení motoru



Obr 10: Schéma řízení motoru

Hlavními prvky tohoto obvodu jsou budiče IR2104S, které pracují s napájecím napětím v rozmezí 10 až 25V a MOSFET tranzistory IRF8313.

Logická rozhodovací úroveň na vstupech IN a \overline{SD} je minimálně 3V. Pro použití rozhodovací úrovně 2.5V lze použít budič IRS2104. Tento budič IR2104S umožňuje použití úrovně logiky od 3V do 15V.

Zapínací čas činí typicky 680ns zatímco vypínací čas je 150ns. Mrtvá doba (při přepnutí větvi) 520ns, ale softwarově je ošetřeno přepólování motoru (chod v opačný směr) dobou 400ms. Tento budič má zabudovanou řídicí logiku, která zneumožňuje současnou aktivaci výstupů HO a LO což by mělo za následek zkrat napájecího napětí na zem přes tranzistory IRF8313.

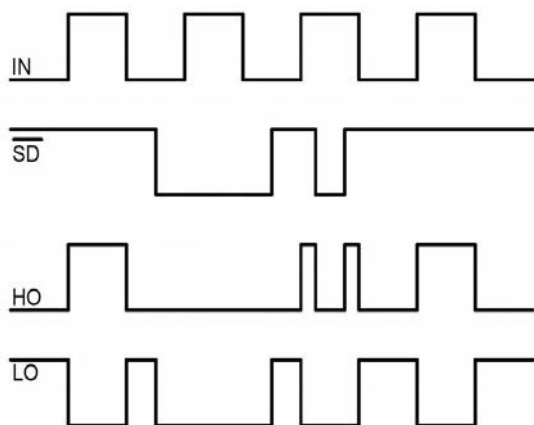
Výstup je ve fázi současně se vstupem. Pin SD vypíná oba kanály zároveň.

Tento budič je možno použít s tranzistory MOSFET s N-kanálem či s IGBT tranzistory přičemž můžeme řídit až 600V.

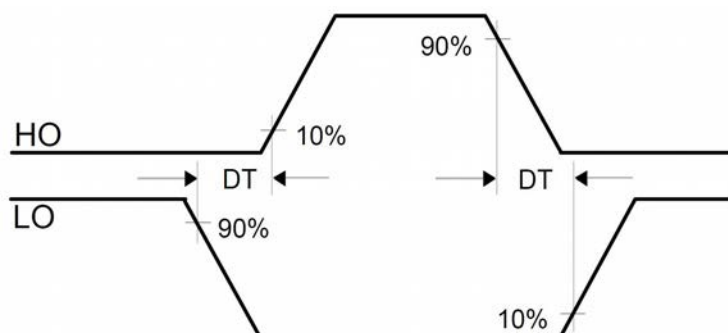
Budič je aktivován přivedením napětí 3,3V z procesoru na pin \overline{SD} a pokud na vstupu IN není přítomno napětí, tak je aktivní výstup LO a tranzistor Q10B je přizemněn. Přepnutí na horní větev HO provedeme přivedením napětí na IN, **které ovšem musí být PWM**.

To znamená, že procesorem programově řídíme přepínání větví HO a LO pomocí vstupu IN.

Spínání provádíme vždy střídavě a to tak, že na jedné straně je aktivní vstup IN a na druhé straně je vstup IN bez napětí. Potom proud poteče jako přes H-můstek. Pro opačný směr otáčení motoru přepneme vstupy IN. Vstup napájení je vhodné osadit filtračním elektrolytickým kondenzátorem s nízkým sériovým odporem (LowESR) o kapacitě kolem 1uF/35V.



Obr 11: Logika spínání budiče IR2104S. Zdroj [5]



Obr 12: Mrtvá doba při přepínání větví. Zdroj [5]

4.1.2 Administrace systému

K administraci systému slouží tlačítko, které se nachází na horní straně DPS a k rozpoznání právě zvoleného módu slouží LED dioda.

Při prvním krátkém stisku tlačítka se LED dioda rozbliká s periodou 500ms a nastaví se učicí mód po dobu 10s. Pokud přijde zpráva z ovladače je nastaven učicí mód s funkcí pro zpětný chod brány (pokud se brána otevírá, po jednom stisku ji zastav, po druhém ji zavři). Pokud do 10s nestiskneme žádné tlačítko na ovladači, řídicí DPS se vrátí do normálního módu pro ovládání motoru. Každý další krátký stisk spustí jinou učicí funkci. Pro přehlednost uvedu kus zdrojového kódu:

```
// gate command
#define CmdGateOposite      0x40 // if opened close, if closed open
#define CmdGateOpen        0x41 // open only
#define CmdGateClose       0x42 // close only
#define CmdWingOposite     0x43 // if opened wing close, if closed wing open
#define CmdWingOpen        0x44 // wing open only
#define CmdWingClose       0x45 // wing close only
#define CmdGateStop        0x46 // stop the gate
```

Při dlouhém stisku tlačítka (interval 2 – 7s) se za cca 2s rozsvítí LED dioda trvale. Po uvolnění tlačítka se vyše zpráva s tím, že tato řídicí DPS má být nastavena jako vedlejší křídlo a LED ihned zhasne. Nastavení tedy funguje tak, že na křídle, které má být nastaveno jako hlavní se stiskne tlačítko krátce (spustí se učicí mód, LED bliká) a na druhém křídle, které má být jako vedlejší se tlačítko podrží cca 2s (LED se rozsvítí trvale) tím se vyše zpráva, že toto křídlo má být vedlejší a hlavní křídlo tuto zprávu přijme a nastaví se jako hlavní.

Při extra dlouhém stisku cca 8s a více LED dioda zhasne (rozsvítí se po 2s) a dojde k vymazání všech zařízení a jejich nastavení včetně nastavení hlavního/vedlejšího křídla. To je vhodné například v případě ztráty některého z ovladačů.

Maximální počet zařízení (ovladačů), které lze na řídicí DPS zaregistrovat je 10.

4.1.3 Energetická bilance řídicí DPS

Musíme uvážit, že komunikační modul musí být trvale v přijímacím módu a zde je spotřeba 18mA. Za jeden den tedy spotřebuje:

$$P_{vyst} = U_{vyst} * I_{vyst} = 3,3 * 18 mA = 59,4 mW$$

$$P_{vst} = \frac{P_{vyst} * 100}{\eta} = \frac{59,4 * 100}{85} = 69,882 mW$$

$$I_{vst} = \frac{P_{vst}}{U_{vst}} = \frac{69,882}{12} = 5,823 mA$$

$$Q_{rx} = 5,823 * 24 = 139,764 mAh$$

$$t_{rx} = \frac{Q_{bat}}{Q_{rx}} = \frac{2600}{139,764} = 18,6 dní$$

S baterií o kapacitě 2,6Ah zjistíme, že by dokázala napájet komunikační modul přes 18 dní (bez otevírání/zavírání). Proto je DPS vybavena konektorem pro připojení solárního panelu. Ve slunečný den dokáže dodat proud až 300mA. Pokud by baterie byla úplně vybitá, tímto slunečním panelem by se dobila na plnou kapacitu za 9 až 10 hodin.

Uvažujme 10x otevření/zavření za den. Proud motorem je 1A. Otevírání brány trvá přibližně 20 sekund. Spotřeba tedy bude:

$$Q_{otv} = \frac{I_{bat}}{t_{hod}} * t_{otv} = \frac{1}{3600} * 200 = 55,5 mAh$$

Pokud obě spotřeby sečteme, dostaneme výsledek spotřeby za celý den:

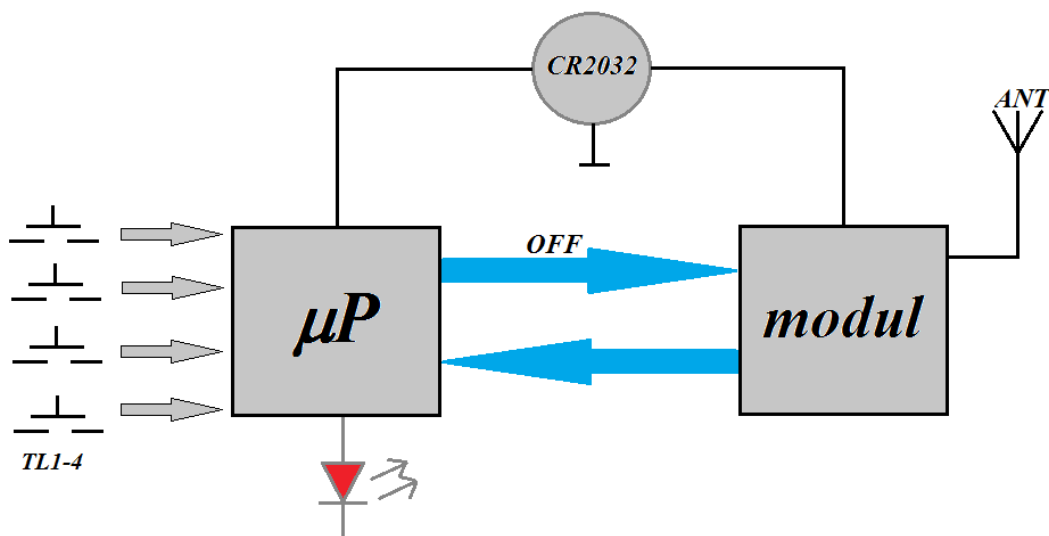
$$Q_{tot} = Q_{rx} + Q_{otv} = 139,764 + 55,5 = 195,32 mAh$$

Výdrž s otevíráním je tedy následující:

$$t_{brana} = \frac{Q_{bat}}{Q_{tot}} = \frac{2600}{195,32} \doteq 13 dní$$

Závěrem z tohoto výpočtu plyne, že baterie dokáže napájet řídicí DPS přes 13 dní bez dobíjení baterie.

4.2 Ovladač



Obr 13: Blokové schéma ovladače

Ovladač je rovněž vybaven procesorem ATmega328P a komunikačním modulem DRF4432F20. Procesor je z největší části v režimu POWER_DOWN kde je spotřeba 100nA a modul je vypnut pomocí pull-up rezistoru na pinu SDN. Zde je spotřeba 15nA. Procesor je v případě potřeby vyslání zprávy nejvhodnější probudit pomocí přerušení PIN_CHANGE_INTERRUPT. To znamená, že po stisku tlačítka dojde k přerušení a následné vykonání programu jako je načtení instrukce, které tlačítko bylo stisknuto, probuzení modulu a vyslání určité zprávy. Ihned po vyslání zprávy se modul i procesor opět vrátí do režimu spánku. Tím je zajištěna nejnižší spotřeba.

U ovladače se hledí na univerzálnost, coby použití jednotného vysílače pro domovní automatizaci. Na ovladači nalezneme 4 tlačítka. Můžeme tedy vyslat 4 různé zprávy a tím ovládat 4 různé periférie, případně jednu periférii, ale s jinou činností. Další možnosti ovládání lze upravit tak, že se například při delším podržení tlačítka nebo kombinací stisku více tlačítek může vyslat jiná zpráva. Nepřípustná funkce je pouze stisk 4 tlačítek zároveň. To nám dává další možnosti ovládání. Napájení ovladače je provedeno knoflíkovou baterií CR2032 s napětím 3,3V a kapacitou typicky 220mAh. Ta je přímo určena pro napájení ovladačů, malých hodin a další drobné elektroniky.

4.2.1 Energetická bilance ovladače

Zapnutí ovladače trvá 16ms a spotřeba při zapínání je 0,8mA.

$$Q_{on} = \frac{t_{on} * I_{on}}{t_{hod}} = \frac{(16 * 10^{-3} * 0,8 mA)}{3600} = 3,55 * 10^{-6} mAh$$

Vysílání trvá 2,5ms a spotřeba je 85mA.

$$Q_{tx} = \frac{t_{tx} * I_{tx}}{t_{hod}} = \frac{(2,5 * 10^{-3} * 85 mA)}{3600} = 5,90 * 10^{-5} mAh$$

Příjem trvá 5ms a spotřeba při příjmu paketu je 17mA.

$$Q_{rx} = \frac{t_{rx} * I_{rx}}{t_{hod}} = \frac{(5 * 10^{-3} * 17 mA)}{3600} = 2,36 * 10^{-5} mAh$$

Spotřeba procesoru v POWER-DOWN režimu je:

$$Q_{CPU} = 0,1 \mu A$$

$$Q_{CPUden} = 0,1 * 24 = 2,4 * 10^{-3} mAh$$

Celková spotřeba za 1 den tedy činí:

$$Q_{total} = (Q_{on} + Q_{tx} + Q_{rx} * 24) + Q_{CPUden}$$

$$Q_{total} = (8,615 * 10^{-5} * 24) + 2,4 * 10^{-3} = 2,068 * 10^{-3} + 2,4 * 10^{-3} = 4,468 * 10^{-3} mAh$$

Použitá baterie CR2032 má typicky kapacitu 220mAh, z čehož vyplývá doba výdrže baterie:

$$t = \frac{Q_{bat}}{Q_{tot}} = \frac{220}{(4,468 * 10^{-3}) * 365} = 135 let$$

V případě 10x otevření/zavření brány za den je výdrž baterie 26 let. Je zřejmé, že ovládáním brány se baterie v ovladači nevybíje, ale spíše vyprší životnost baterie.

Ve vypnutém stavu má modul spotřebu pouhých 15nA a procesor 100nA a vzhledem k takto nízkým hodnotám je zbytečné zahrnovat tuto spotřebu do výpočtu.

5 Procesor ATmega328P

Procesor ATmega328P je 8-bitový procesor od společnosti ATMEL. Řadí se do architektury RISC (Reduced Instruction Set Computing) což znamená, že návrh je zaměřen na jednoduchou a vysoce optimalizovanou sadu strojových instrukcí. RISC procesory jsou jednoduché a mají malou spotřebu. Z toho vyplývají i nižší výrobní náklady.

Typické rysy architektury RISC jsou následující:

- Procesor komunikuje s pamětí po sběrnici.
- Redukované jsou pouze typy strojových instrukcí (tj. "práce uvnitř", operace s pamětí a řídicí instrukce).
- Délka provádění jedné instrukce je vždy jeden cyklus (tj. délka v bitech všech instrukcí je stejná).
- Mikroinstrukce jsou hardwarově implementovány na procesoru, čímž je velmi výrazně zvýšena rychlost jejich provádění.
- Registry jsou pouze víceúčelové (nezáleží, který z nich instrukce využije, což zjednodušuje návrh překladačů).
- Využívají řetězení instrukcí.

Procesor ATmega328P je jednoduchý nízko-příkonový (pico-power) AVR procesor. Počet instrukcí, které se vykonají za jeden strojový cyklus je 131. Dále má 32x8bit registrů pro obecné použití, které jsou propojeny s aritmeticko-logickou jednotkou (ALU). Velikost paměti je 32kB paměti typu FLASH, kterou lze jednoduše přepsat, přičemž počet přepsání je 10 000. Paměť EEPROM má velikost 1kB a lze ji přepsat 100 000 krát. Dále pak je zde ještě vnitřní SRAM paměť o velikosti 2kB.

Procesor lze napájet napětím 1,8 až 5,5V. Pracovní teplotní rozsah od -40 do +85°C. Spotřeba energie v aktivním módu je 0,2mA a pouze 0,1μA v režimu power-down, který se využívá v ovladači.

Programování tohoto procesoru se provádí přes SPI rozhraní, které je na portu B. Jak ovladač tak i řídicí deska má vývody (plošky) do kterých se zapájí konektor, přes který následně můžeme procesor naprogramovat či nahrát bootloader a následně využívat vývody na sériové rozhraní UART. Významy jednotlivých vývodů pro SPI je následující:

MISO – vždy Master vstup, Slave výstup (Master Input, Slave Output).
MOSI – vždy Master výstup, Slave vstup (Master Output, Slave Input).
SCK – hodiny, které určuje Master.
VCC – napájení 3.3V.
GND – zem.

5.1 Nastavení procesoru

5.1.1 Nastavení procesoru pro ovladač

PCICR – Pin Change Interrupt Control Register

PCICR – Pin Change Interrupt Control Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x68)	-	-	-	-	-	PCIE2	PCIE1	PCIE0	PCICR
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr 14: Registr řízení přerušení. Zdroj [6]

U ovladače je procesor v režimu spánku, probudit ho lze stiskem tlačítka. Je tedy třeba nastavit přerušení od „změny“ logické úrovně pinu. To se provede v registru PCICR. Tlačítka jsou na ovladači připojena k procesoru na portu C (PCINT 8 až 11). Je tedy potřeba nastavit PCICR na hodnotu 0x02 protože budeme využívat pouze PCIE1 viz. Obr13 níže.

PCMSK1 – Pin Change Mask Register 1

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x6C)	-	PCINT14	PCINT13	PCINT12	PCINT11	PCINT10	PCINT9	PCINT8	PCMSK1
Read/Write	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr 15: Maskování bitů pro přerušení od tlačítka. Zdroj [6]

Tlačítko 1 je připojeno na PCINT8 (pin 23)

Tlačítko 2 je připojeno na PCINT9 (pin 24)

Tlačítko 3 je připojeno na PCINT10 (pin 25)

Tlačítko 4 je připojeno na PCINT11 (pin 26)

Musíme tedy správně promaskovat registr PCMSK1.

Pro přehlednost definujeme proměnné BUTTON1, BUTTON2, BUTTON3 a BUTTON4

```
#define BUTTON1 0x01
```

```
#define BUTTON2 0x02
```

```
#define BUTTON3 0x04
```

```
#define BUTTON4 0x08
```

Dále pak provedeme maskování.

```
PCMSK1 = BUTTON1 | BUTTON2 | BUTTON3 | BUTTON4; //maskování bitů pro tlačítka
```

Na ovladači můžeme ještě nastavit LED diodu pro bliknutí při vyslání zprávy (stisku tlačítka). LED je připojena na portu B7, registr PCINT7 na pinu 8.

DDRB – The Port B Data Direction Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x04 (0x24)	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	DDRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr 16: Registr B. Zdroj [6]

Pro nastavení LED diody si opět nadeklarujeme proměnnou LED:

```
#define LED 0x80
```

```
DDRB = LED;           // LED jako výstup
PORTB = 0xFC;        // Vypnutí LED
```

5.1.2 Nastavení procesoru pro řídicí desku

Nastavení AD převodníku:

AD převodník je k dispozici 10-bitový. Maximální čas převodu činí 260 μ s. Počet vzorků za sekundu je schopen zpracovat 15kS při maximálním rozlišení. Absolutní přesnost činí poslední 2 LSB bity. Referenční napětí je 1.1V. Výsledek převodu se vypočítá dle vzorce:

$$ADC = \frac{U_{vst} * 2^n}{U_{ref}} = \frac{U_{vst} * 1024}{U_{ref}}$$

AD převodníkem lze například měřit teplotu čipu. Teplotní senzor je zabudovaný v procesoru. Naše primární využití AD převodníku, ale bude pro měření proudu motorem.

ADMUX – ADC Multiplexer Selection Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x7C)	REFS1	REFS0	ADLAR	–	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr 17: Nastavení AD převodníku. Zdroj [6]

Bity [7:6] znamenají nastavení napěťové reference 1,1V s externím kondenzátorem připojený na pin AREF.

Bit [5] ADLAR je 16-bitový registr, kde se nastavuje reprezentace AD výsledku buď na horních 10 bitů nebo spodních 10 bitů.

Bit [3:0] nastavení měření (Napětí na baterii, proud motorem).

ADCSRB – ADC Control and Status Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x7B)	–	ACME	–	–	–	ADTS2	ADTS1	ADTS0	ADCSRB
Read/Write	R	R/W	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr 18: Spuštění AD převodníku od události. Zdroj [6]

ADCSRB = 0x00; //free running mode – AD převodník stále převádí. Pokud motor neběží, sledujeme napětí na baterii, pokud motor běží, počítáme proud motorem.

ADCSRA – ADC Control and Status Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x7A)	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr 19: Spuštění AD převodníku. Zdroj [6]

ADCSRA = 0xE6;

ADEN – ADC Enable – povoluje tedy AD převod.

ADSC – AD Start Conversion – ve free running módu započne převod ihned.

ADATE – ADC Auto Trigger Enable – lze nastavit automatické spuštění AD převodníku od události.

ADPS[3:0] – Division factor. Dělička frekvence mezi systémovým oscilátorem a vstupem na AD převodníku. Děličku nastavíme na 64 z důvodu rychlosti přerušovací rutiny.

TCCR0B – Timer/Counter Control Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x25 (0x45)	FOC0A	FOC0B	–	–	WGM02	CS02	CS01	CS00	TCCR0B
Read/Write	W	W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr 20: Nastavení časovače/čítače 0. Zdroj [6]

TCCR0B |= 0x02 // Nastaví děličku základní frekvence 1MHz na 8. Výsledná hodnota tedy bude 3906,25Hz (čítač do 255).

TIMSK1 – Timer/Counter1 Interrupt Mask Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x6F)	–	–	ICIE1	–	–	OCIE1B	OCIE1A	TOIE1	TIMSK1
Read/Write	R	R	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr 21: Maskování přerušování od časovače/čítače. Zdroj [6]

TIMSK1 = 2; // Přerušování započne v době, kdy hodnoty registru Compare A jsou shodné s registrem časovače TCNT1.

TCCR1A – Timer/Counter1 Control Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0									
(0x80)	<table border="1"><tr><td>COM1A1</td><td>COM1A0</td><td>COM1B1</td><td>COM1B0</td><td>–</td><td>–</td><td>WGM11</td><td>WGM10</td></tr></table>								COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	–	–	WGM11	WGM10	TCCR1A
COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	–	–	WGM11	WGM10										
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W									
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0									

Obr 22: Nastavení přerušeni z časovače/čítače. Zdroj [6]

TCCR1A = 0 //normální mód, nastavení přerušeni každou 1ms

TCCR1B – Timer/Counter1 Control Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0									
(0x81)	<table border="1"><tr><td>ICNC1</td><td>ICES1</td><td>–</td><td>WGM13</td><td>WGM12</td><td>CS12</td><td>CS11</td><td>CS10</td></tr></table>								ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	TCCR1B
ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10										
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W									
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0									

Obr 23: Nastavení přerušeni z časovače/čítače. Zdroj [6]

TCCR1B = 0x0A //vstupní frekvence 1MHz a čítání každou mikrosekundu

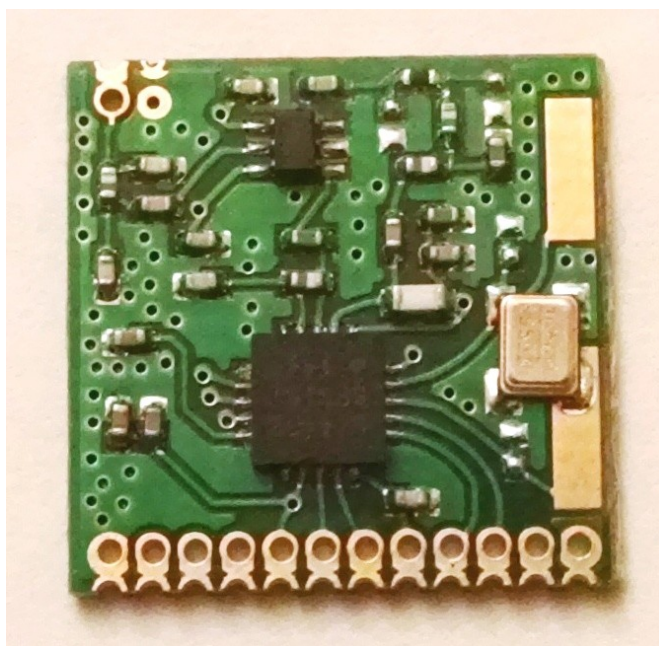
PRR – Power Reduction Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0									
(0x64)	<table border="1"><tr><td>PRTWI</td><td>PRTIM2</td><td>PRTIM0</td><td>–</td><td>PRTIM1</td><td>PRSPI</td><td>PRUSART0</td><td>PRADC</td></tr></table>								PRTWI	PRTIM2	PRTIM0	–	PRTIM1	PRSPI	PRUSART0	PRADC	PRR
PRTWI	PRTIM2	PRTIM0	–	PRTIM1	PRSPI	PRUSART0	PRADC										
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W									
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0									

Obr 24: Nastavení spánkového režimu. Zdroj [6]

V tomto registru lze nastavovat řízení spotřeby. Pokud tento registr naplníme hodnotou 0xFF dojde k zapnutí POWER-DOWN módu, kdy procesor je uvedeme do režimu s nízkou spotřebou, tedy 0,1uA. Zastaví se všechny časovače/čítače, rozhraní SPI a AD převodník

6 Bezdrátový komunikační modul DRF4432F20



Obr 25: Modul DRF4432F20

Tento vysoce citlivý modul (-121dBm) s dostatečně silným výstupem 20dBm se hodí pro aplikace s krátkým dosahem. Napájecí napětí je povoleno v rozmezí 1.8V ~ 3.6V. Modul pracuje na frekvencích 240 až 930MHz, pro naše potřeby je vhodná frekvence 433MHz.

Modul obsahuje čip Si4432, SMD krystal a spirálovou anténu.

Spotřeba v přijímacím stavu činí 18.1mA a ve vysílacím stavu pak 85mA (při výkonu 20dBm).

Velká výhoda tohoto modulu je možnost kompletního vypnutí a to pomocí pull-up rezistoru na pinu SDN=1 (Shutdown). Zde je pak spotřeba pouhých 15nA.

Datový tok až 256kbps.

Výrobce dodává spirálovou anténu, bohužel její rozměry jsou nevhodné pro umístění do ovladače a je ji tedy třeba nahradit jinou, vhodnou anténou. Výhoda tohoto modulu je také ta, že anténní výstup má standardní impedanci 50 Ohmů, umožňující připojení mnoha typů běžně dostupných antén.

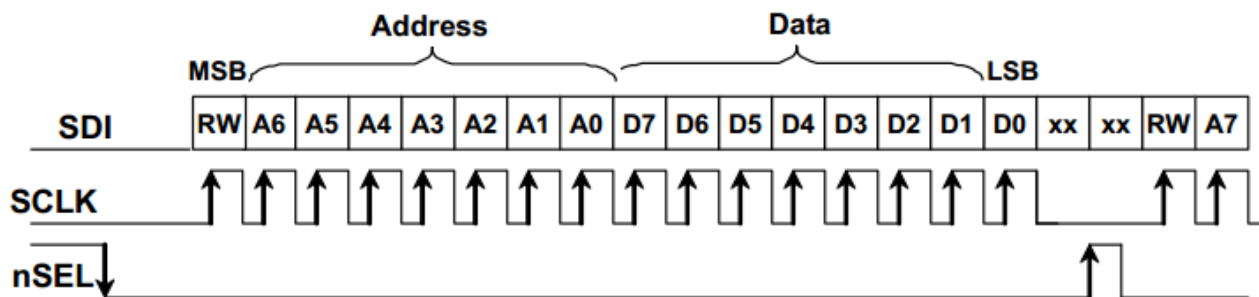
Podpora následujících modulací FSK/GFSK/OOK
FSK – Frequency-shift keying (Frekvenční modulace)
GFSK – Gaussian frequency-shift keying
OOK – On-off keying (Amplitudová modulace)

Použití tohoto modulu je široké. Například bezdrátové měření/čtení pro shromažďování dat o spotřebě vody, či plynu. Bezdrátové PC periférie nebo domovní automatizace.

6.1 Komunikace

Veškerá komunikace probíhá na frekvenci 434,92MHz a je šifrována pomocí 128-bitového standardu AES. Ke komunikaci s mikroprocesorem slouží 4-pinové sériové periferní rozhraní SPI. Čtení dat se provádí na výstupním pinu SDO.

Přenos dat je 16-bitový, tato sekvence bitů se skládá z příznaku na čtení/zápis \bar{R}/W . Bit \bar{R} je negovaný, čili pokud $\bar{R}/W = 1$, znamená to zápis. Dalších 7 bitů je adresové pole (ADDR) a zbylých 8 bitů je datové pole (DATA), které je po vyslání dostupné v registru SDO.



Obr 26: Datový paket modulu. Zdroj [7]

Fáze vysílacího stavu (TX):

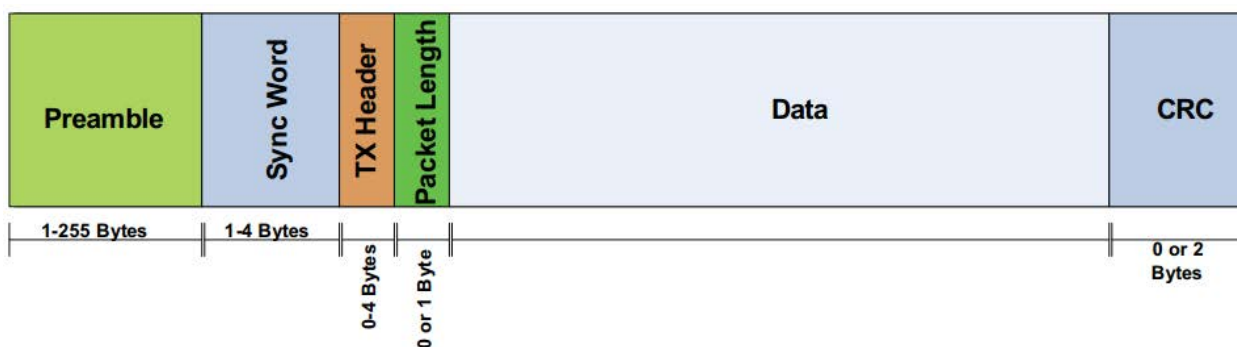
- Zapnutí hlavních regulátorů napětí (Analog, Digital)
- Zapnutí oscilátoru
- Zapnutí fázového závěsu (PLL)
- Kalibrace VCO (Napětím řízený oscilátor)
- Čekání dokud se frekvence pro vysílání neustálí (řízeno vnitřním časovačem)
- Zapnutí zesilovače pro vysílání
- Vyslání paketu

Fáze přijímacího stavu (RX):

- Zapnutí hlavních regulátorů napětí (Analog, Digital)
- Zapnutí oscilátoru
- Zapnutí fázového závěsu (PLL)
- Kalibrace VCO (Napětím řízený oscilátor)
- Čekání na ustálení frekvence pro příjem (řízeno vnitřním časovačem)
- Zapnutí obvodů pro příjem LNA, mixers, ADC
- Zapnutí přijímacího módu v digitálním modemu

Modul umožňuje přerušení od události. V případě přerušení se nastaví výstupní pin nIRQ do úrovně log. „0“

Konfigurace rámce:



Obr 27: Složení rámce. Zdroj [7]

Pro konfiguraci rámce slouží na čipu dva FIFO zásobníky o velikosti 64bajtů. Jeden pro vysílání a druhý pro příjem. Programově se nastaví úrovně plnění (thresholds) těchto zásobníků. Po překročení této úrovně nastává přerušení.

Preamble je vždy sled střídajících se jedniček a nul a vždy začíná nulou a při přicházejícím rámci je vždy automaticky detekován. V našem případě má velikost 4Bajty.

Synchronizační slovo má velikost 2B

Hlavička se skládá ze 4 Bajtů a představuje adresu odkud se vysílá (from), komu (to), typ (id – Ovladač, Brána, PC).

Délka paketu je 1Bajt.

To je dohromady 11Bajtů.

Naše vyslané Data mají velikost 16Bajtů a obsahují:

Sériové číslo vysílače	4B (8b číslo zařízení v síti a 24b číslo sítě)
Hodnota čítače	4B
Příkaz (stisk tlačítka)	1B
Napětí baterie v ovladači	1B
Teplota čipu v ovladači	1B
Stisknuté tlačítko	1B
Rezerva tvořená polem pro další 4 hodnoty	4*1B

Cyklická kontrola redundance má velikost 2Bajty. Celý rámec tedy zabírá 29Bajtů, což je 232bit.

Pro vysílání dat použijeme připravenou funkci z knihovny RF22.h

```
rf22.sendto(&key, len, SERVER_ADRESS)
```

K přijetí zprávy v řídicí desce použijeme funkci

```
rf22.recvfrom(buf, &len, &from, &to)
```

7 Oživení / Naprogramování

7.1 Postup pájení a oživení

Je vhodné pájet součástky od nejmenších (součástky pro povrchovou montáž SMD) po největší drátové součástky. Pokud je to možné, je lepší prvotně osazovat desku odpory a kondenzátory a poté malými čipy, aby zbytečně nebyl čip teplotně namáhán při pájení ostatních součástek, které jsou v bezprostřední blízkosti čipu. Při osazování plošného spoje je vhodné prvotně osadit stabilizátor pro 10V, připojit napájení z baterie na svorkovnici VBAT / GND a vyzkoušet tak jeho funkci. Pokud je vše v pořádku dále je třeba osadit spínaný zdroj pro 3,3V a ten rovněž vyzkoušet připojením napájecího napětí. Dále můžeme osadit blok pro dobíjení baterie ze solárního panelu a dále blok pro řízení motoru. Jako poslední osadíme procesor a bezdrátový komunikační modul. Poté co jsou všechny součástky pro povrchovou montáž připájeny, můžeme začít pájet drátové součástky a svorkovnice. Pokud je vše správně zapájeno, tak by proudový odběr neměl být téměř žádný (mA).

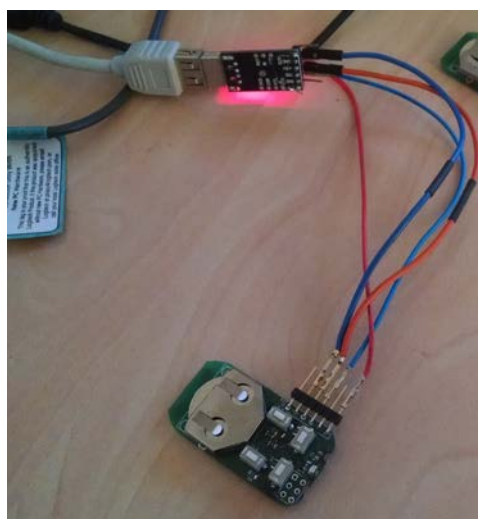
7.2 Programování

Veškeré programování se provádí v jazyku C/C++ v prostředí Arduino IDE, které je zdarma dostupné na oficiálních stránkách Arduina.

Můj postup programování spočíval v „vypálení“ bootloaderu do procesoru přes programátor Arduino DUE pomocí již zmíněného programu Arduino IDE. Po nastavení správného procesoru a programátoru, můžeme spustit nahrání bootloaderu do procesoru pomocí funkce „vypálit zavaděč“. Veškeré další programování je možné přes sériové rozhraní UART pomocí pinů Rx, Tx, Reset, GND, Vcc opět přes Arduino IDE.



Obr 28: Arduino DUE s SPI konektorem



Obr 29: Programování přes sériové rozhraní UART

7.3 Stručný popis softwaru

V přílohách na CD najdeme 4 základní důležité programy.

- **Keyset** – Program pro zápis a nastavení proměnných do paměti EEPROM pro ovladač.
 - Obsahuje hlavní strukturu, ve které jsou 4 čítače, sériové číslo ovladače, možný offset čítače (nazvané okno čítače v případě stisku tlačítka mimo dosah brány), typ příkazu, funkce
- **Ovladac** – Hlavní program pro ovladač, který se zapisuje do FLASH paměti.
 - Hlídá okno 4 čítačů a poté je zapisuje je paměti EEPROM, nastavuje komunikační modul pro vysílání a pro režim spánku, šifruje vysílaná data pomocí standardu AES, měří napětí na baterii v ovladači a teplotu na komunikačním modulu.
- **GateEE** – Program pro zápis a nastavení proměnných do paměti EEPROM pro řídicí DPS.
 - Obsahuje hlavní strukturu, ve které je nastavení okna čítače, počtu přihlášených zařízení, index hlavní/vedlejší brány, indexu pro hlášení alarmu pokud je vybitá baterie, minimální a maximální napětí baterie, zpoždění pro start vedlejšího křídla a dvě rychlosti motoru.
- **Gate** – Hlavní program pro řídicí DPS, který se zapisuje do FLASH paměti. Tento program obstarává komunikaci s ovladačem a vedlejší bránou, pokud je brána v pohybu měří se proud motorem, pokud brána stojí měří se napětí na baterii. Šifruje vysílaná data pomocí AES128, řeší administraci systému, logiku spouštění (přepínání směru) motoru a hlídání jeho proudu. Dále nabíjení baterie ze solárních článků, pokud napětí na baterii klesne pod parametrem zvolenou mez (nyní 10V) a přestane nabíjet, pokud napětí na baterii překročí 13V.

8 Cenová kalkulace

Celková cena součástek je 800kč pro 2 řídicí desky a 3 ovladače. Cena výroby těchto DPS je dohromady 900kč. Mé DPS jsou vyrobeny firmou PragoBoard s.r.o., kdy standardní doba dodání DPS je 5 pracovních dnů při využití služby „pool servis“. Tato služba je jednorázová a maska se tedy neuchovává pro pozdější výrobu. Výhoda ve službě pool servis je ta, že výroba je levnější na jednorázovou výrobu, například testovacích prototypů desek. Parametry DPS zadány do výroby zmíněnou službou jsou následující:

- Materiál FR4 1,5mm 18 μ m Cu (základ)
- Nepájivá maska 1-2x (zelená barva)
- Servisní potisk 1-2x (bílá barva) druhý potisk za příplatek
- Elektrické testování
- H.A.S.L (bezolovnatý HAL) nebo chemické zlacení
- Obdélníkové frézování vnějšího obrysu (použitá fréza 2,4mm)
- Spoj/mezera $\geq 150\mu\text{m}$, vrták $\geq 0,3\text{mm}$

Standardní velikost panelu pro pool servis je 1dm². Do tohoto rozměru se vejdou 2 řídicí desky a 4 ovladače. Celkové náklady (součástky + výroba) těchto DPS tedy činí 1700kč.

9 Závěr

Jedním z cílů této bakalářské práce bylo provést literární rešerši. Ta je popsána v kapitole 3 Literární rešerše. Zde se rozebírá popis systému zvaný Z-Wave a dále výčet několika dostupných řídicích jednotek pro řízení dvoukřídlych bran.

Další z cílů bylo navrhnout schémata a DPS jako miniaturní systém pro řízení dvoukřídlych bran. Zařízení realizovat, osadit, oživit a otestovat. Kompletní schémata a návrhy DPS jsou níže v přílohách a na přiloženém CD. Výsledné rozměry řídicí DPS činí 5×5cm a 2,3×4,4cm pro DPS ovladače.

Další cíl práce je vytvoření komplexního programové vybavení, které umožní ovládání a administrování systému. Program je velice obsáhlý a proto je veškerý zdrojový kód vypálen na přiloženém CD. Administrace systému je podrobně popsána v kapitole 4.1.2 Administrace systému

Mimo hlavní body práce je v úvodu je popsána hlavní myšlenka projektu a koncepce domovní automatizace. Dále jsou detailně popsány navržené DPS a jejich součásti. V dalších kapitolách práce je popsán mikroprocesor ATmega328P a jeho podrobné nastavení hlavních částí. Dále je popsán bezdrátový komunikační modul DRF4432F20.

Z hlediska ochrany motoru je implementována ochrana proti přetížení motoru nadproudem, které je řešeno počítáním klouzavého průměru proudu. Další ochrana je řešena zastavením motoru po uplynutí doby 60s.

Jako další možné rozšíření práce spočívá v implementaci softwaru pro měření úhlu natočení brány, kdy se data přijímají z modulu kompasu HMC5883L, jež je připojitelný do stávajících vývodů na řídicí desce. Další rozšíření práce spočívá ve využití vývodů pro WiFi modul ESP8266 a následné ovládání i nastavování systému přes Wi-Fi z PC nebo mobilního telefonu.

10 Literatura

- [1] KOŽDOŇ, O. *Řízení dvoukřídle brány*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 30 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D..
- [2] Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6
- [3] LIBERTY, Jesse. *Naučte se C++ za 21 dní. 2., aktualiz. vyd.* Překlad Josef Pojsl, Karel Voráček. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1583-1.
- [4] International Rectifier. IRF8313 . datasheet. [online]. 11.5.2008 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf8313pbf.pdf>
- [5] International Rectifier IR2104S. datasheet. [online]. 4.2.2004 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2104.pdf>
- [6] ATmega328P. Atmel-8271J-AVR- ATmega-Datasheet. [online]. 11.2015 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/atmel-8271-8-bit-avr-microcontroller>
- [7] SI4432. datasheet. [online]. 10.2010 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <https://www.silabs.com/Support Documents/TechnicalDocs/Si4430-31-32.pdf>
- [8] POOL servis. Pragoboard. [online]. 2012 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://www.pragoboard.cz/pool_servis
- [9] Ganesh T S. Home Automation Systems – A Consumer Checklist. Anandtech. [online]. 17.4.2015 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.anandtech.com/show/9174/home-automation-systems>
- [10] Alpha & Omega Semiconductor. AOZ1280. datasheet. [online]. 8.2011 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://www.aosmd.com/res/data_sheets/AOZ1280CI.pdf
- [11] Taiwan Semiconductor. TS317. datasheet. [online]. – [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://www.taiwansemi.com/products/datasheet/TS317_E15.pdf

Přílohy

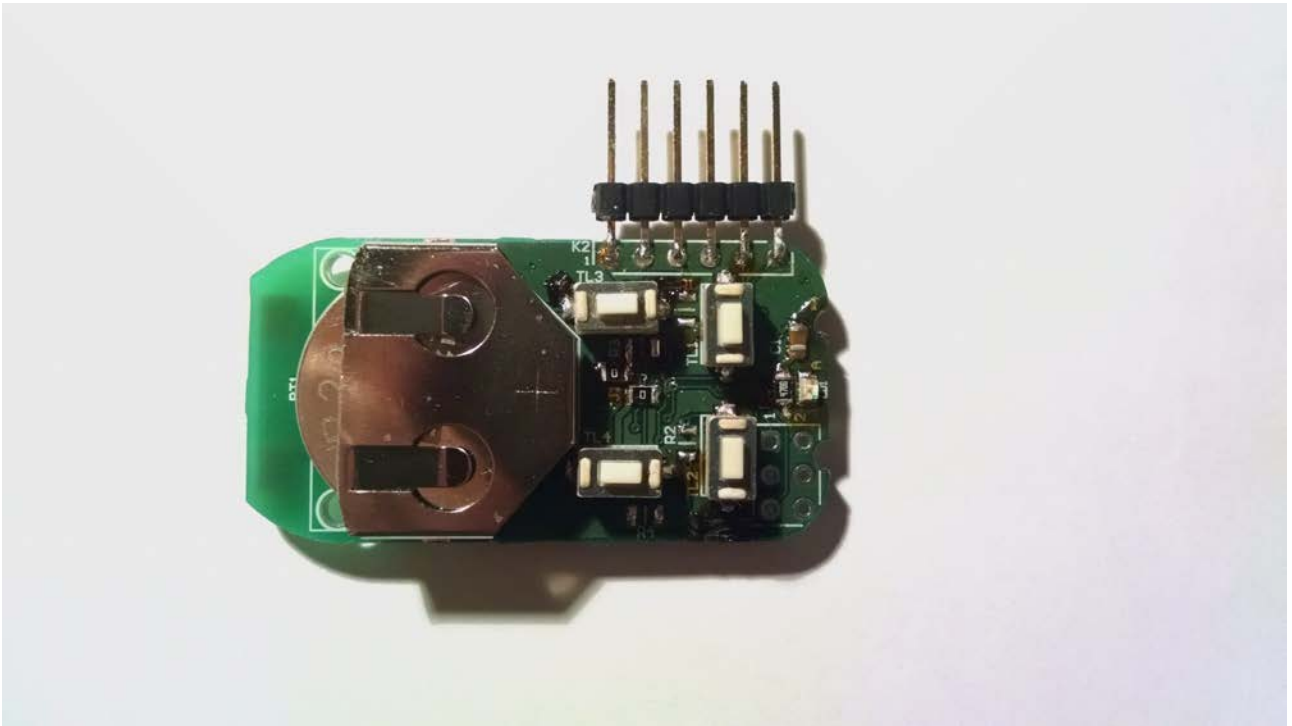
Na následujících stranách je přiloženo:

- Schéma ovladače
- Schéma řídicí DPS
- Návrhy obou DPS + osazovací plány (poměr 1:1 k tisku)
- Fotografie panelu (po výrobě službou Poolservis)
- Fotografie reálně vyrobených, funkčních a osazených DPS.

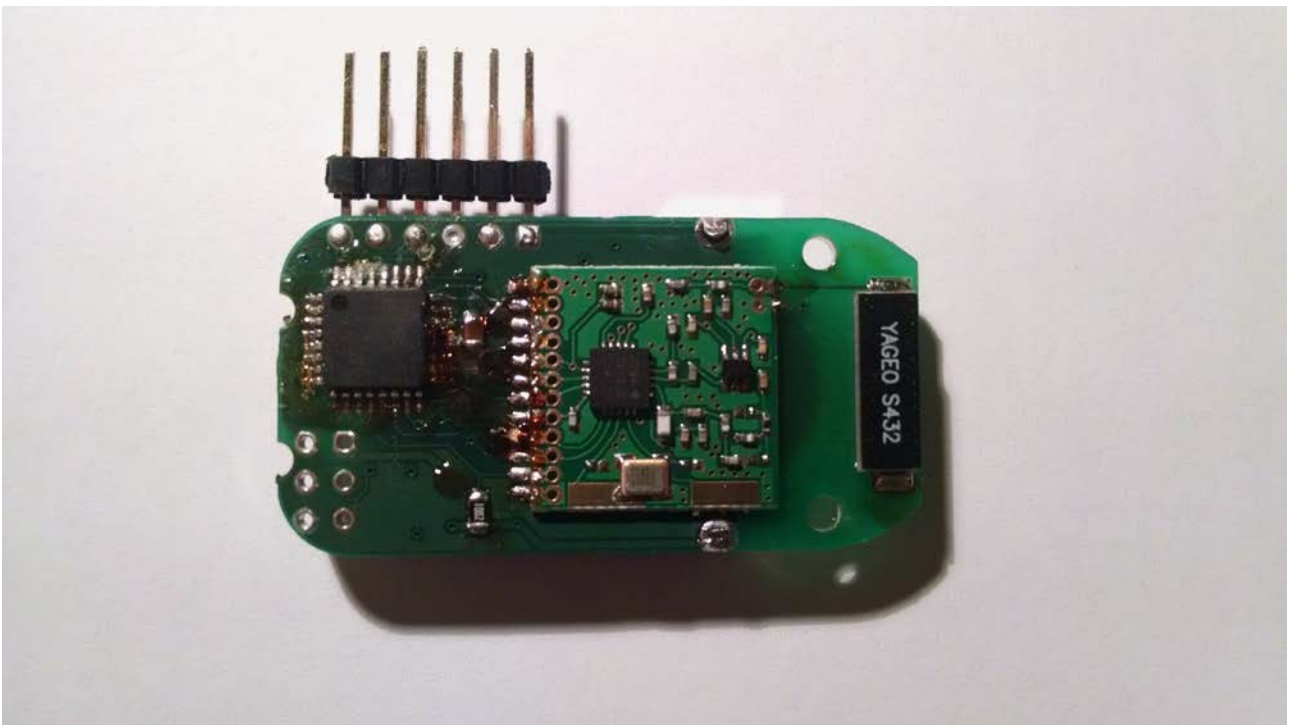
Přílohy na CD

Na přiloženém CD poté nalezneme schémata i návrhy obou DPS v PDF formátu i soubory schémat a návrhů v programu Altium Designer v.10. Dále pak kompletní software pro naprogramování obou DPS

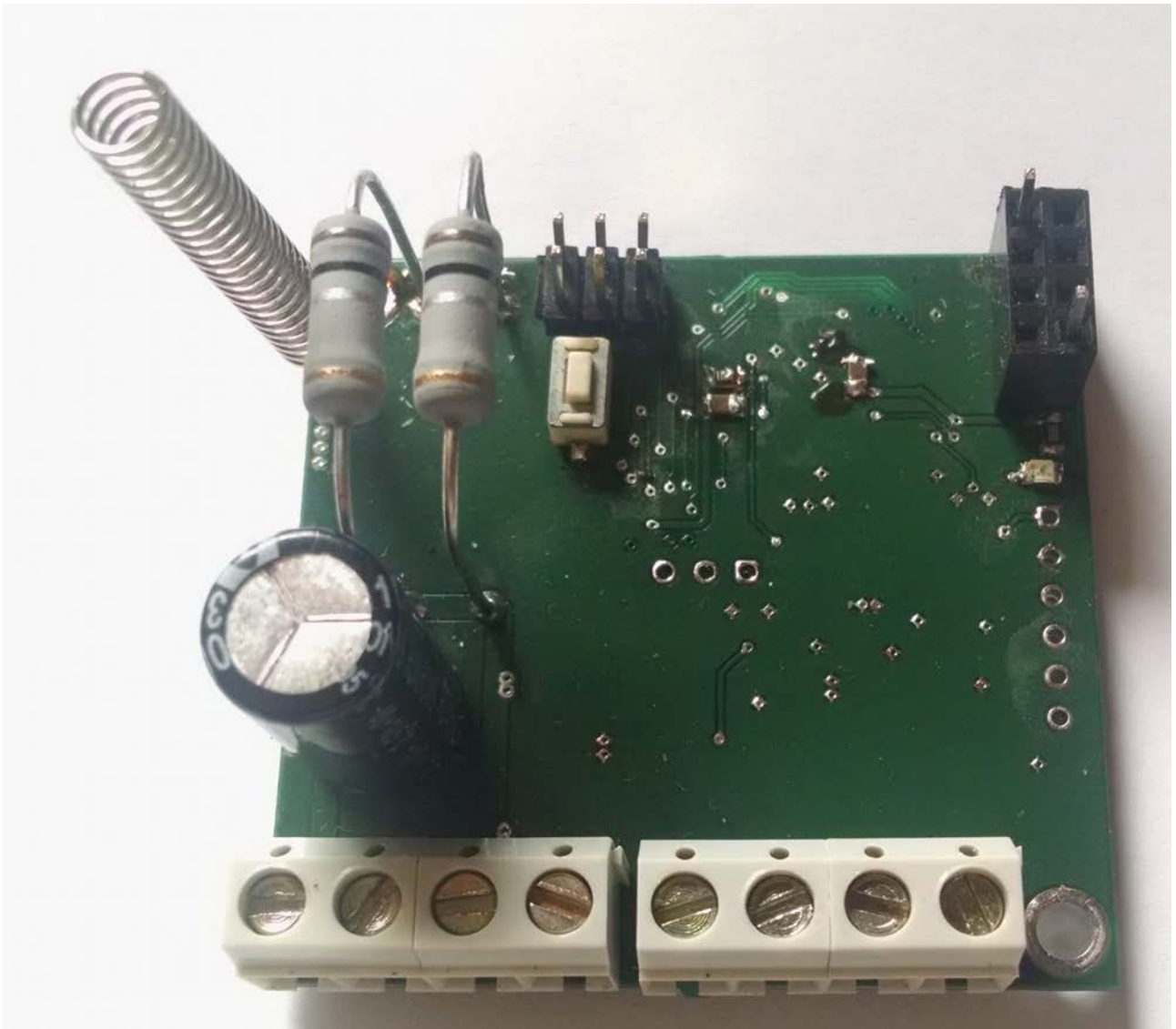
- Seznam součástek
- PDF schéma a návrh desky ovladače v – dps\ovladac\pdf
- PDF schéma a návrh řídicí desky v - dps\motor\pdf
- Schéma a návrh desky ovladače z programu altium v - dps\ovladac\altium
- Schéma řídicí DPS z programu altium v – dps\motor\altium
- Software pro EEPROM paměť do ovladače v – sw\ovladac\keyset
- Software pro FLASH paměť ovladače v – sw\ovladac\ovladac
- Software pro EEPROM paměť pro řídicí DPS v – sw\motor\GateEE
- Software pro FLASH paměť řídicí DPS v - sw\motor\Gatec



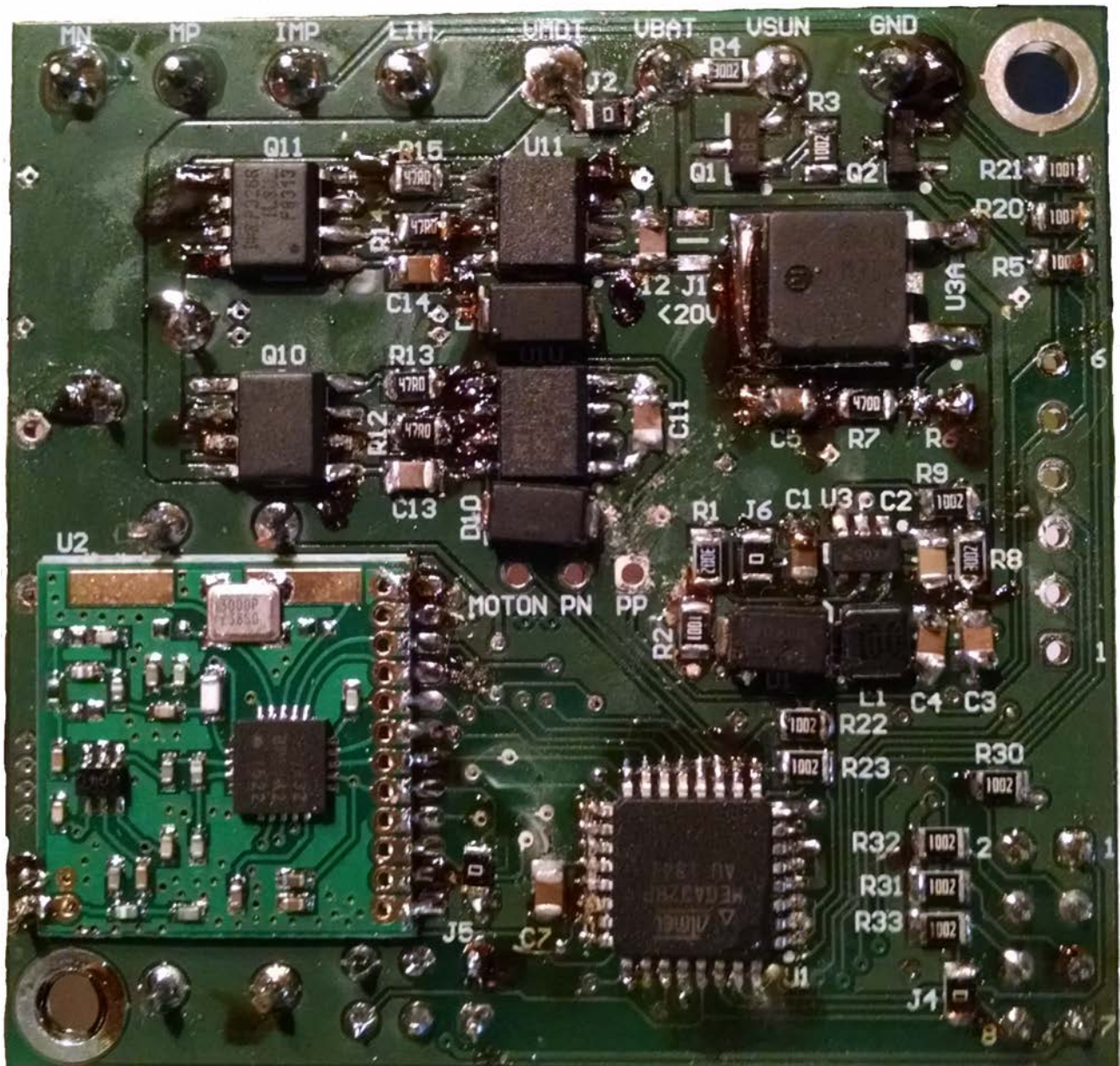
Obr 30: Prototyp ovladače (horní strana)



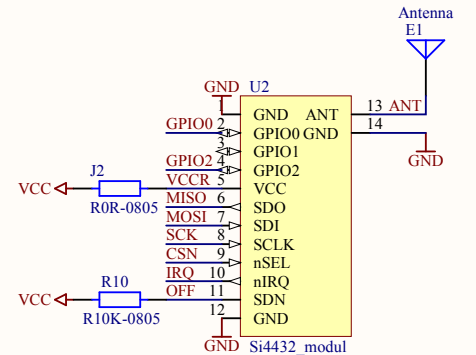
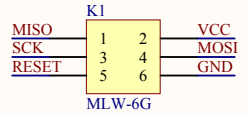
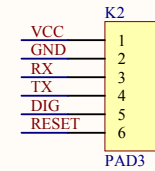
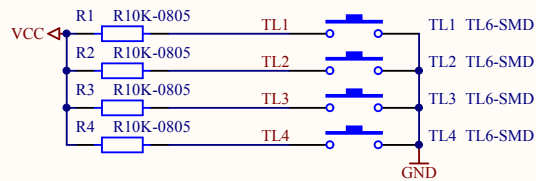
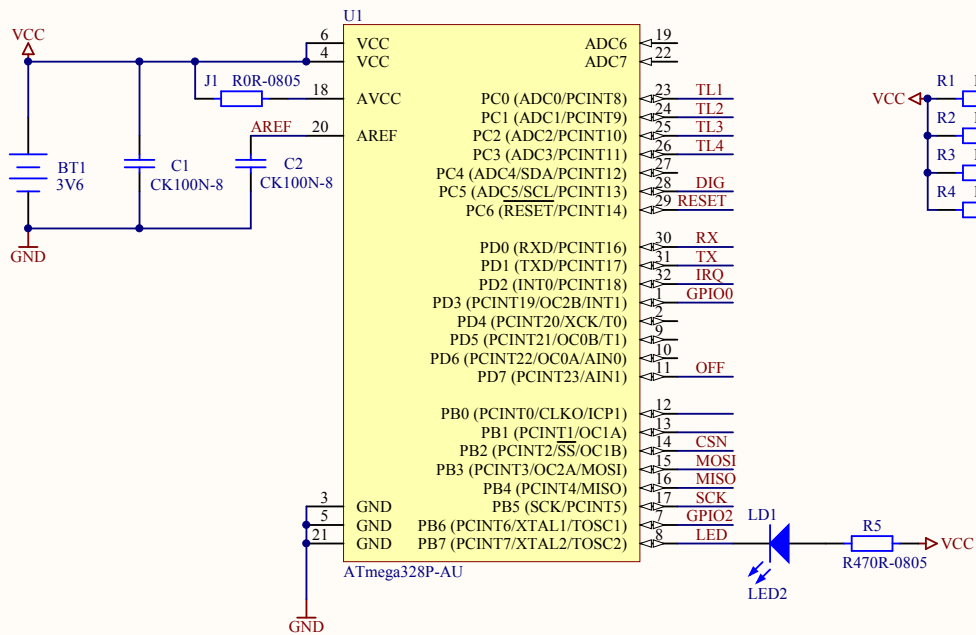
Obr 31: Prototyp ovladače (spodní strana)



Obr 32: Prototyp řídicí DPS (horní strana)



Obr 33: Prototyp řídicí DPS (spodní strana)



Title			
Size	Number	Revision	
A4			
Date:	18.5.2016	Sheet of	
File:	C:\Users\...\ovladacc.SchDoc	Drawn By:	

1

2

3

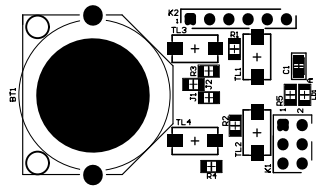
4

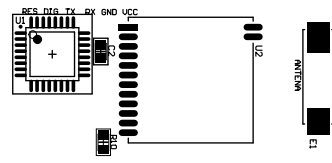
1

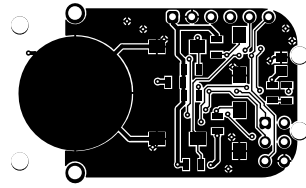
2

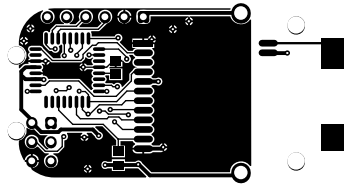
3

4

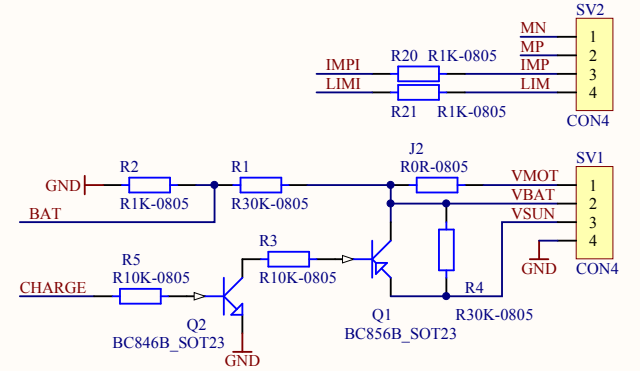
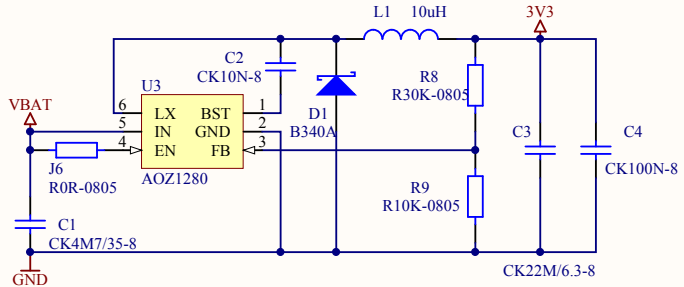
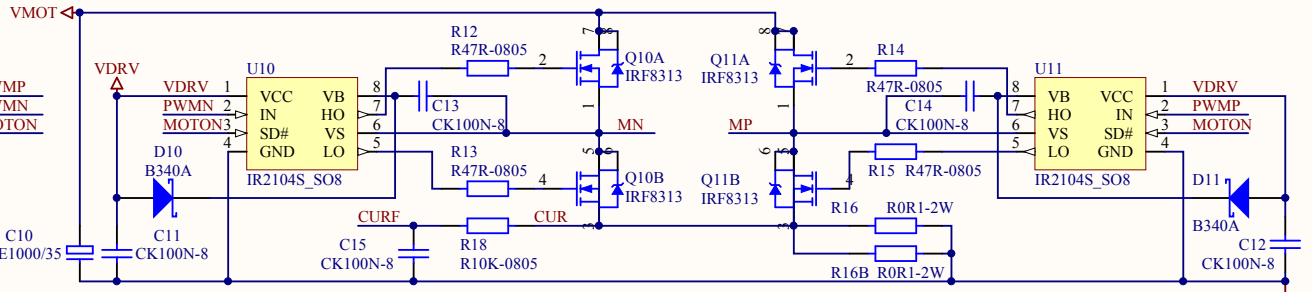
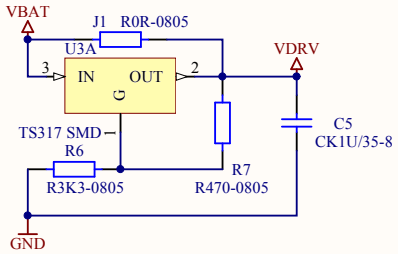




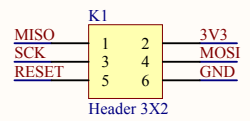
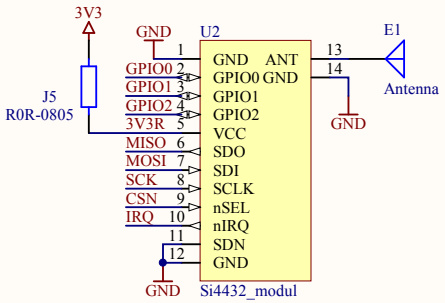
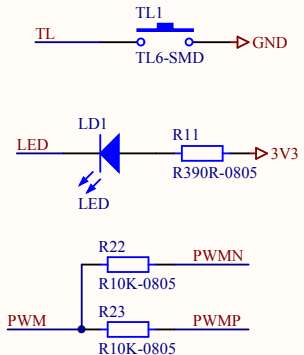
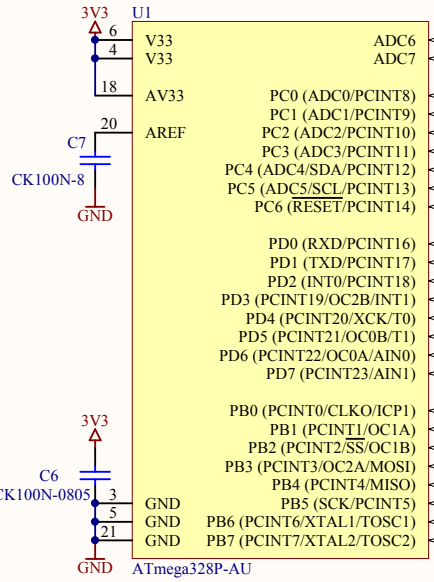
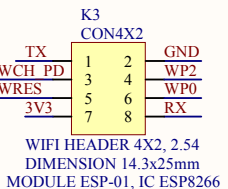
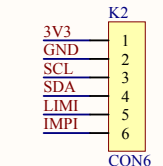




STABILIZATOR OSADIT PRO VBAT>20V JINAK J1



COMPASS HEADER 6X1, 2.54 DIMENSION 13x18MM MODULE GY-273, IC HMC5883L



Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	18.5.2016	Sheet of
File:	C:\Users\branac\SchDoc	Drawn By:

