

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra měření

## **Diplomová práce**

**Elektronika navijáku kalibrační vlečné sondy**

**Praha 2015**

**Bc. Bruno Schinkmann**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická  
Katedra měření

Akademický rok 2014-15

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Student: **Bc. Bruno Schinkmann**

Studijní program: **Kybernetika a robotika**  
Obor: **Senzory a přístrojová technika**

Název tématu česky: **Modul řízení navijáku kalibrační vlečné sondy**

Název tématu anglicky: **Control Module of a Trailing Probe Winch**

**Pokyny pro vypracování:**

Cílem projektu je vývoj ovládací elektroniky navijáku letecké závěsné sondy pomocí předem vytipovaných součástek. Výsledkem bude návrh elektroniky, plošného spoje a SW vybavení obvodu pro kontrolu navijáku, který bude umožňovat ovládání obousměrného navijení závěsného lana, kontrolu odvinuté délky, snímání směru odvinutého lana, kontrolu napájecí LiPo baterie a správu jejího nabíjení. Komunikace s řídicím modulem bude pomocí bezdrátového pojítka. Výsledkem práce bude funkční modul umožňující ovládání a měření předepsaných parametrů. Funkčnost modulu bude otestována v rozšířeném teplotním rozsahu a funkce odvíjení bude vyzkoušena ve větrném tunelu.

**Seznam odborné literatury:**

- [1] Pačes, P. - Popelka, J. - Auersvald, J.: Standalone Trailing Probe for Aero metrical Measurements. In DASC 2012 - 31th Digital Avionics System Conference - Proceedings. Piscataway: IEEE Operations Center, 2012, vol. 1, p. 1-12. ISBN 978-1-4673-1698-9.
- [2] Siskind, Charles S. (1963). Electrical Control Systems in Industry. New York: McGraw-Hill, Inc.. ISBN 0-07-057746-3.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Pavel Pačes, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 12. listopadu 2014

Platnost zadání do<sup>1</sup>: 31. srpna 2016

Doc. Ing. Jan Holub, Ph.D.  
vedoucí katedryProf. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan


V Praze dne 12. 11. 2014

<sup>1</sup> Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

## Čestné prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací ČVUT.

V Praze dne .....10.5.2015.....



Podpis autora práce

## Anotace

Cílem této diplomové práce je navrhnout, vytvořit a otestovat elektronického zařízení pro řízení navijáku vlečné kalibrační sondy. Jedná se zejména o řízení motoru oběma směry, zajištění bezdrátové komunikace, měření úhlu svíraného mezi lanem a referenční úrovní a měření délky odvinutého lana. Dále je cílem konfigurace otestování obvodu pro ochranu Li-Pol baterie, ze které bude celý systém napájen.

## Annotation

The aim of this work is to propose, develop and test electronic equipment for towing winch calibration probe. In particular, the emphasis is put on motor control in both directions, providing wireless communication, measuring the angle between the rope and the reference level and length measurements for unwounded rope. Another aim is to configure and test a circuit for protecting the Li-Pol batteries from which the system will be powered.

## Poděkování

Velmi rád bych poděkoval vedoucímu práce Doc. Ing. Pavlu Pačesovi, Ph.D. za velmi vstřícný přístup při řešení problémů týkajících se této diplomové práce, za cenné rady a za poskytnutí některých jeho knihoven pro řídicí mikroprocesor.

Dále bych chtěl poděkovat mé přítelkyni, která mi byla psychickou podporou po dobu tvoření této práce a postarala se také o jazykovou korekturu. Rodičům bych chtěl poděkovat za umožnění studia a vytvoření podmínek pro studium.

# Obsah

Úvod.....	1
1 Základní pojednání o aerodynamické sondě .....	2
1.1 Motivace k vývoji navijáku .....	3
2 Mechanická konstrukce.....	4
2.1 Motor navijáku .....	5
3 Řídící elektronika .....	8
3.1 Bezdrátová komunikace .....	8
3.2 Budič výkonových tranzistorů.....	9
3.2.1 Testy budiče výkonových tranzistorů A3941.....	10
3.3 Měření délky odvinutého lana .....	11
3.4 Svíraný úhel.....	13
3.5 Galvanické oddělení .....	15
3.5.1 Galvanické oddělení digitálních signálů .....	16
3.5.2 Galvanické oddělení digitálních obousměrných signálů.....	17
3.5.3 Galvanické oddělení analogových signálů.....	18
4 Správa baterie.....	21
4.1 Připojení obvodu TI BQ77PL900 k mikroprocesoru .....	22
4.2 Popis jednotlivých stavů.....	24
4.2.1 Přílišné vybití .....	24
4.2.2 Přílišné nabití.....	25
4.2.3 Nadproud, zkratový proud.....	27
4.2.4 Přehřátí baterie .....	28
4.2.5 Schématické znázornění přechodů mezi stavy.....	31
4.3 Start obvodu TI BQ77PL900.....	31
4.4 Testy obvodu TI BQ77PL900 .....	33
5 Firmware .....	36

5.1	Napětí a proud baterie.....	37
5.2	Odečet délky odvinutého lana .....	39
5.3	Generování signálu pro servomotor .....	41
5.4	Uložení sondy do klidové polohy .....	42
5.5	Zjištění aktuální polohy .....	43
5.6	Programování EEPROM obvodu BQ77PL900 .....	43
5.7	Zpracování signálu XALERT.....	45
6	Ovládací protokol.....	47
6.1	Strana PC .....	47
6.2	Strana ovládací elektroniky navijáku .....	48
6.3	Popis funkcí.....	49
6.3.1	Winch_OpenUSB, Winch_OpenTCP .....	49
6.3.2	Winch_GetFW .....	51
6.3.3	Winch_SetPosition .....	51
6.3.4	Winch_StopPosition.....	52
6.3.5	Winch_GetAngle.....	52
6.3.6	Winch_GetLength .....	52
6.3.7	Winch_GetBatVoltage .....	53
6.3.8	Winch_GetBatCurrent.....	53
6.3.9	Winch_GetStatus.....	54
6.3.10	Winch_SetParkPos .....	55
7	Nabíječka.....	56
	Závěr.....	60
	Příloha A - kompletní elektrické schéma .....	62
	Příloha B – návrhy DPS .....	68
	Příloha C – obrázky zařízení .....	69
	Citovaná literatura .....	70





## Úvod

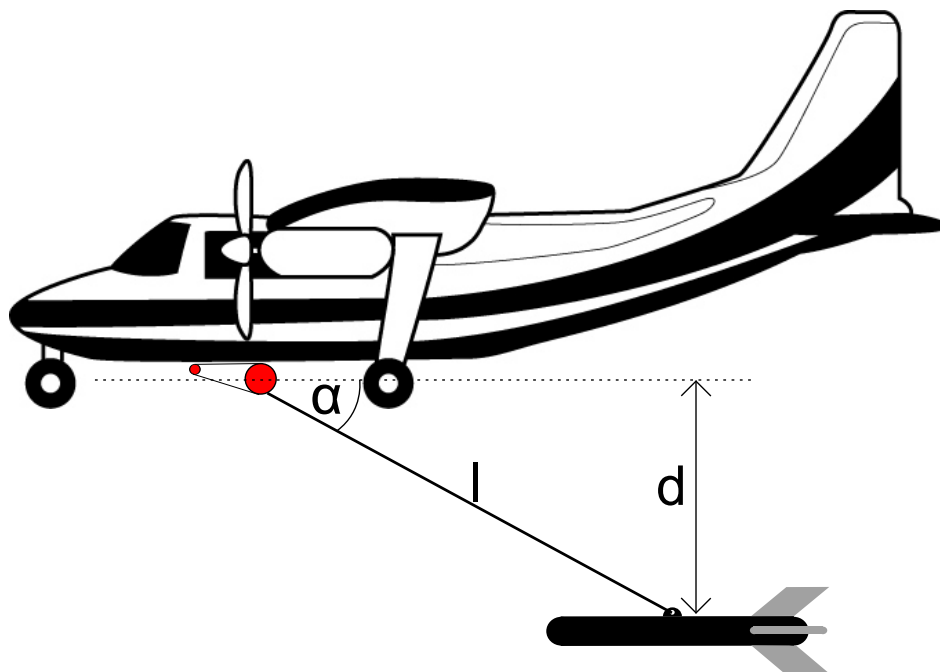
Tato práce přímo navazuje na předchozí bakalářskou práci, kterou rozšiřuje o další funkce a zejména vylepšuje funkce stávající, které se ukázaly být příliš neefektivní. Z původní práce zůstal základní princip řízení motoru, konkrétně H můstek, avšak jeho buzení je zcela odlišné – integrované. Dále z původní práce zůstal obvod pro správu vybíjení a nabíjení baterie, který byl v rámci diplomové práce plně zprovozněn, otestován a připojen prostřednictvím sběrnice I2C k řídicímu mikroprocesoru. Nyní je tedy možné mít pod kontrolou napětí na baterii a velikost odebíraného proudu. Základní princip snímání délky odvinutého lana zůstal stejný, prostřednictvím optické brány, nicméně byly zde zařazeny další obvody předzpracování signálu – RC filtr a tvarovač signálu. Kompletně nová je také DPS, která nyní obsahuje veškeré komponenty na jedné desce, je tak dosaženo velké kompaktnosti, přehlednosti a jednoduchosti. Princip měření svíraného úhlu mezi lanem a referenční rovinou navijáku zůstal nezměněn.

Software byl také razantně přepracován, nyní lépe využívá potenciál řídicího mikroprocesoru a umožňuje zobrazit uživateli veškeré naměřené údaje. Byla též vytvořena knihovna do prostředí Matlabu, kde je možné za pomoci jednotlivých skriptů číst data ze systému nebo zadávat příkazy k vykonání.

# 1 Základní pojednání o aerodynamické sondě

Základní popis aerodynamické měřicí sondy byl proveden již v předchozí bakalářské práci „Elektronika navijáku kalibrační vlečné sondy.“ (1), nicméně aby tento dokument mohl vystupovat samostatně a čtenář si mohl udělat lepší představu o vyvíjeném zařízení, je zde popis sondy uveden znovu. Aerodynamická sonda umožňuje měření vlastností okolní atmosféry, konkrétně statický a dynamický tlak (2). Sonda je určena pro kalibraci palubních přístrojů či jako měřicí sonda. Aerodynamická sonda je vcelku specifické zařízení, dle informací v (2) nejsou bližší specifikace veřejně přístupné. Vyvíjenou sondu lze však pokládat za inovační, neboť měřené veličiny zpracovává přímo ve svých útrokách řídicím mikroprocesorem a s nadřazeným PC komunikuje prostřednictvím bezdrátové technologie. Všechny sondy, o kterých se autorovi práce (2) podařilo najít informace, takto nepracují.

Aerodynamická sonda je prostřednictvím lana připevněna k navijáku a ten je připevněn k trupu letounu. Je vyžadováno, aby naviják byl energeticky nezávislý na zdrojích letounu, proto je zde nutné užití nezávislých baterií. Celkový systém upevnění navijáku a zavěšení aerodynamické sondy je znázorněn na obrázku 1.1.

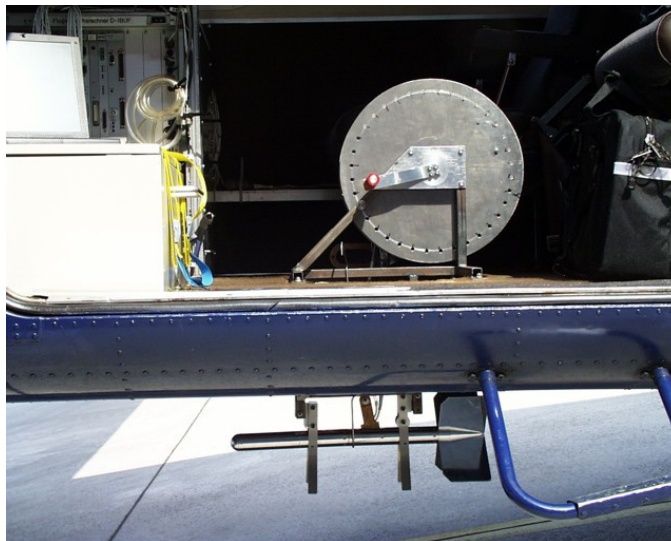


Obrázek 1.1 Uchycení sondy (3)

## 1.1 Motivace k vývoji navijáku

Bohužel vzhledem k nepřilíh dobře dostupným informacím k aerodynamickým sondám, nelze získat ani informace týkající se jejich navíjecích ústrojí. A už vůbec není možné, alespoň dle dostupných informací, takovéto navíjecí zařízení pořídit od nějakého výrobce. Proto vyvstal požadavek, aby byl součástí vývoje inovační aerodynamické sondy také naviják, který umožní využívat aerodynamickou sondu v plném rozsahu. Základním úkolem navijáku je obousměrné navíjení sondy, které umožní umístění sondy do požadované vzdálenosti od letounu, s tím je také spojen další úkol navijáku – měření délky odvinutého lana a tím umožnění stanovení vzdálenosti sondy od letounu. Vlivem odporu větru nebude mezi lanem a referenční horizontální rovinou pravý úhel, proto je jedním z dalších úkolů měření tohoto úhlu.

Na obrázku 1.2 je vidět jedno takové navíjecí ústrojí, zde konkrétně ruční.

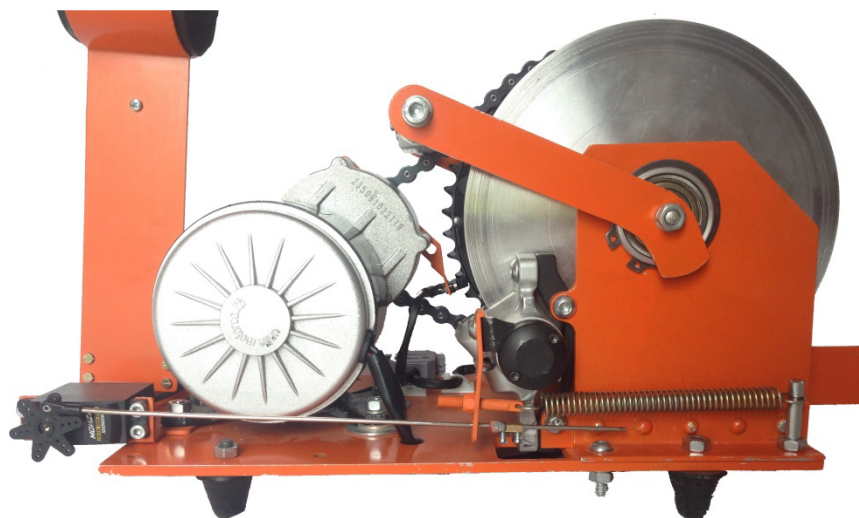


*Obrázek 1.2 Ruční navíjecí ústrojí (4)*

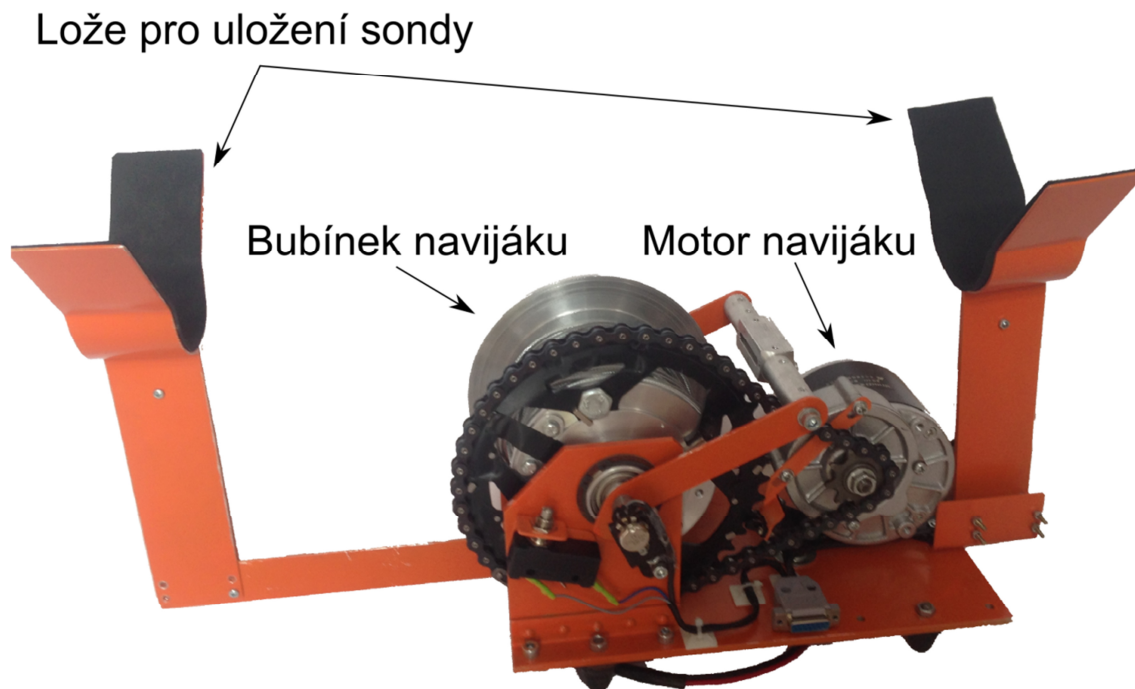
## 2 Mechanická konstrukce

Mechanická konstrukce není obsahem této práce, obsahem této práce je ale mechanické připevnění všech senzorů a přivedení všech vodičů. Další nutnou úpravu vyžaduje systém mechanické brzdy, kdy v poskytnutém mechanickém provedení je pouze připevněná mechanická kotoučová brzda z bicyklu, avšak bez jakéhokoli mechanického přepákování, které by umožnilo ovládání této brzdy.

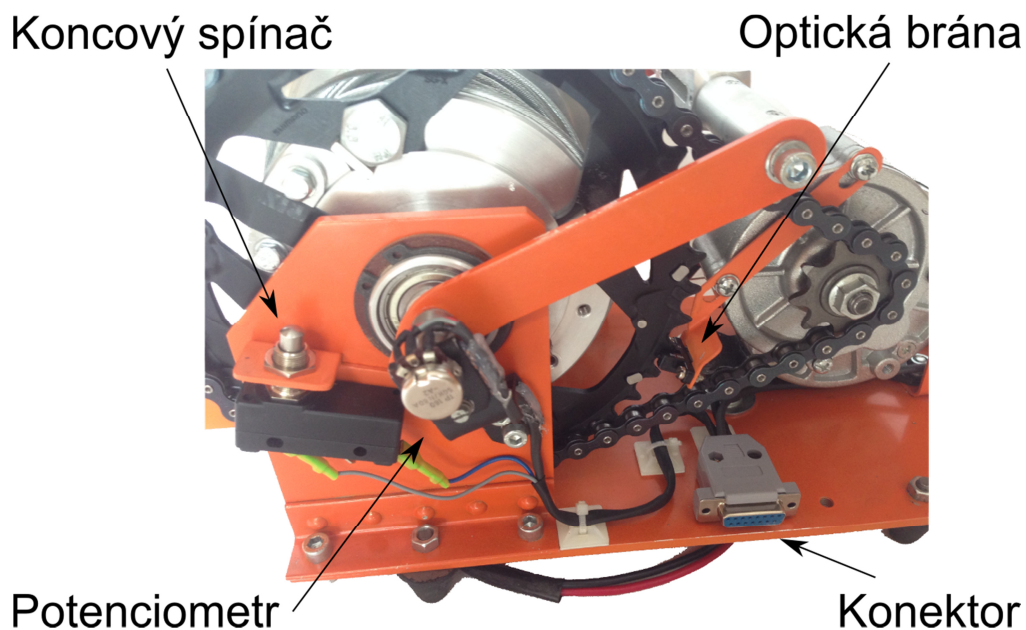
Pro ovládání brzdy byla vytvořena páka, na kterou z jedné strany působí tažná pružina, která udržuje brzdou neustále v zabrzděném stavu. Na druhé straně této páky je prostřednictvím ocelového táhla připojen servomotor, který po dobu otáčení bubínku navijáku přetáhne pružinu a tím systém odbrzdí. Systém je navržen tak, aby po celou dobu odbrzdění byl vyvíjen tah pouze na mechanické prvky servomotoru a ten tak nemusel neustále vytvářet protisílu pružiny a tím korigovat polohu. Toto je realizováno zejména z důvodu eliminace vysokého odběru proudu, neboť servomotor má proudový odběr právě tehdy, je-li proti němu vyvíjena protisíla. Navíc servomotor není na konstantní zátěž konstruován a mohl by tak být poničen. Další ochrana servomotoru spočívá pouze v jednostranném aretování táhla, to umožňuje při opětovném zabrzdění jeho volný pohyb. Pokud tedy nastane situace, že například vlivem nečistot nebude možné vrátit brzdící element do původní polohy, servomotor vykoná obvyklý pohyb a pružina zabrzdí bubínek navijáku alespoň v omezené míře. Celá situace je zachycena na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1 Detail brzda



Obrázek 2.2 Naviják



Obrázek 2.3 Naviják detail

## 2.1 Motor navijáku

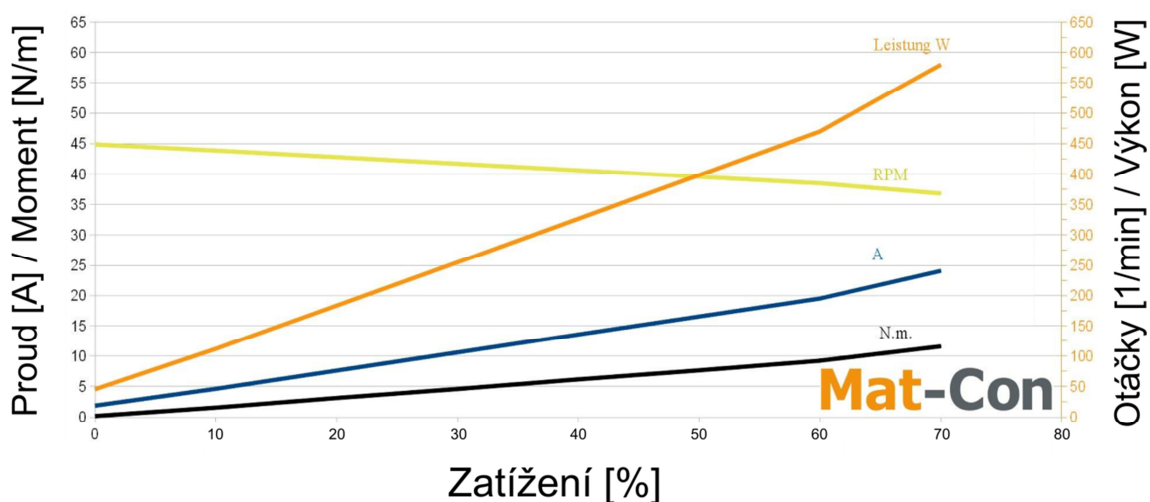
Motor navijáku je již součástí celého navijáku, a proto jeho výběr není součástí této práce. Jedná se o komutátorový stejnosměrný motor, takže pro jeho fungování stačí pouze přivedení stejnosměrného napětí na jeho svorky, jehož polarita určí směr otáčení a střední hodnota pak rychlost otáčení. Motor má již integrovanou převodovku o

převodovém poměru 9,8: 1. Základní informace o použitém motoru lze nalézt v tabulce 2.1 další informace lze nalézt například na (5) nebo (6).

Tabulka 2.1 Parametry motoru

Parametr	Hodnota
$I_{IN}$ [A]	$\leq 25$
$U_{IN}$ [V]	24
$n_{max}$ [1/min]	3 728
$I_{IN,nezatížen\acute{e}}$ [A]	$\leq 1,5$

Parametr	Hodnota
$M_{max}$ [N/m]	9,47
$N_{mot}$ [–]	9,81: 1
$\eta$ [%]	$\geq 76$
$m$ [kg]	2,6



Obrázek 2.4 Charakteristika motoru (5)

Na obrázku 2.4 je také možné vidět kompletní charakteristiku použitého motoru.

Motor má vyjma integrované převodovky ještě další převodový poměr daný poměrem velikosti ozubeného kola na výstupu převodovky a velikosti ozubeného kola připevněném na bubínku navijáku. Malé ozubené kolo na hřídeli převodovky má střední průměr  $r_1 = 22 \text{ mm}$ , kdežto velké na bubínku navijáku má  $r_2 = 115 \text{ mm}$  zubů, z toho převodový poměr

$$N_{kol} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{115}{22} = 5,23: 1. \quad (2.1)$$

To znamená, že celkový převodový poměr při zohlednění integrované převodovky a převodu daném různou velikostí ozubených kol je

$$N_{celk} = N_{mot} \cdot N_{kol} \cong 51,3. \quad (2.2)$$

Při zohlednění maximální rychlosti otáčení motoru  $n_{max} = 380 \text{ min}^{-1}$  získáme maximální možnou rychlost otáčení bubínku navijáku

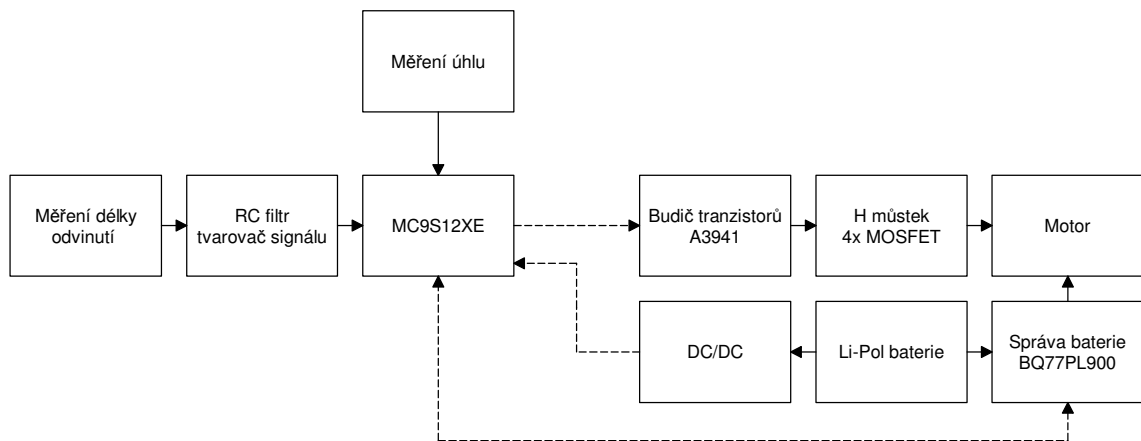
$$n_{nav_{max}} = \frac{n_{max}}{N_{celk}} = \frac{3728}{51,3} = 72,67 \text{ min}^{-1}. \quad (2.3)$$

Při průměru bubínku navijáku  $r_{nav} = 70 \text{ mm}$  získáme maximální rychlost odvíjení

$$v_{nav} = (r_{nav} \cdot \pi) \cdot n_{nav_{max}} = 0,07\pi \cdot 72,67 = 15,98 \text{ m/min}. \quad (2.4)$$

### 3 Řídící elektronika

Centrálním prvkem celého systému je mikroprocesor Freescale rodiny MC9S12XE, který zpracovává signály z ostatních funkčních bloků, nebo generuje signály různých druhů a zprostředkovává komunikaci s uživatelem buďto prostřednictvím bezdrátového modulu nebo USB sběrnice. Samostatné funkční bloky poskytují měření předepsaných parametrů. Přerušované čáry znázorňují galvanicky oddělené signály. Je zde patrné, že celý procesor je galvanicky oddělen od výkonové části a tím je chráněn.



Obrázek 3.1 Blokové schéma systému

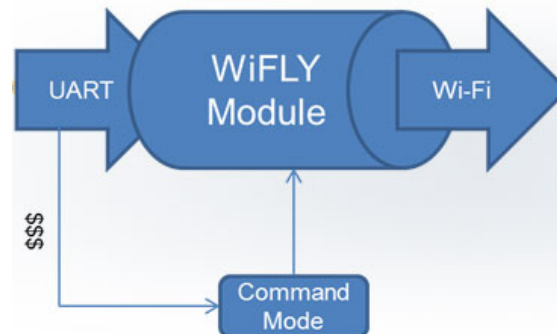
#### 3.1 Bezdrátová komunikace

Na základě požadavků pro tuto práci, byla navrhována bezdrátová konektivita, konkrétně technologie Wi-Fi. Wi-Fi modul byl užítý již v (1), ovšem zde je jeho konfigurace zcela odlišná. K této změně bylo přistoupeno zejména z důvodu rozšiřování operačního systému Windows 8, který neumí implicitně a intuitivně vytvářet sítě typu ad-hoc, které se využívalo doposud. Nyní je využíváno funkce „hostovaná síť“ bezdrátového adaptéru.

Pomocí vytvořeného skriptu je možné takovouto hostovanou síť vytvořit. Po proběhnutí skriptu je vytvořena síť s názvem „TheBUS\_PaPaNET“ a přístupovým heslem „PaPaNET“, modul je nakonfigurovaný tak, aby síť s tímto názvem vyhledával a v případě úspěšného nálezu se k ní pokusil připojit uloženým heslem. Jak vidno, oproti



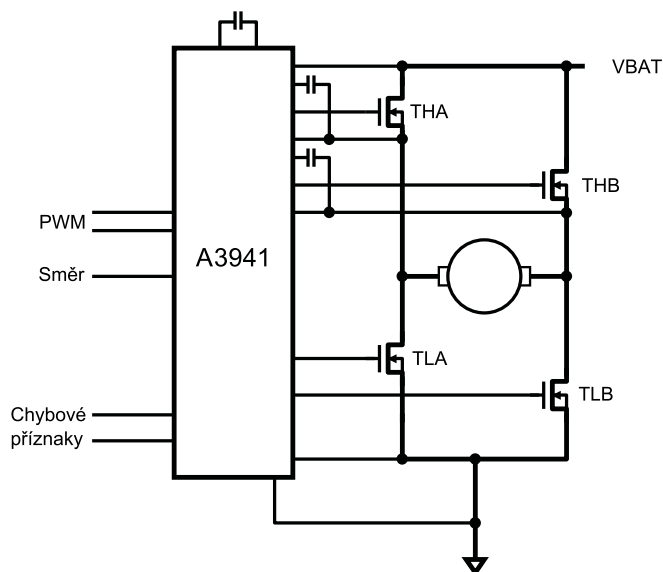
předcházejícímu řešení je připojení zabezpečeno heslem, které je zárukou přínosem bezpečnosti komunikace.



Obrázek 3.2: Princip modulu (7)

### 3.2 Budič výkonových tranzistorů

V této části byly využity poznatky získané v (1), zejména vhodná frekvence pro řízení motoru a systém řízení. Základním prvkem je opět plný H můstek, nyní tvořený 4 tranzistory MOSFET s indukovaným N kanálem, namísto 2x s kanálem typu N a 2x s kanálem typu P jako v (1). Buzení těchto výkonových prvků však již není záležitostí k tomuto účelu sestrojeným řídicím obvodem, ale bylo zvoleno monolitické řešení *Allegro A3941*. Výhod této koncepce je celá řada. Odpadá nutnost řídit všechny 4 tranzistory přímo mikroprocesorem, nyní stačí jako výstupní signál mikroprocesoru pouze PWM, které určuje frekvenci spínání a střidu (výkon) a signál, který rozhoduje o směru otáčení motoru. Obvod disponuje také ochrannými prvky, které v případě nestandardní situace, jedná se zejména o přehřátí a zkrat výstupních svorek, odpojí zátěž (8). Nicméně protože tuto ochranu již poskytuje obvod pro komplexní ochranu baterie, jsou tyto bezpečnostní funkce vyřazeny z provozu, aby nedocházelo k redundanci a možným problémům. Použitím tohoto obvodu lze také značně ušetřit místo na výsledné DPS, neboť tento obvod potřebuje ke správné funkci jen minimum dalších součástek.



Obrázek 3.3: Princip řízení MOSFET tranzistorů (8)

V závislosti na směru otáčení protéká proud vždy pouze jednou z dvojice tranzistorů THA – TLB, nebo THB – TLA. Logika řízení spočívá v neustále sepnutém tranzistoru TL<sub>x</sub>, kdežto druhý tranzistor dvojice spíná v rytmu řídicího signálu PWM.

Tabulka 3.1: Logika spínání

	<i>THA</i>	<i>THB</i>	<i>TLA</i>	<i>TLB</i>
<b><i>PWM = H, Směr = H</i></b>	<i>ON</i>	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	<i>ON</i>
<b><i>PWM = L, Směr = H</i></b>	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	<i>ON</i>
<b><i>PWM = H, Směr = L</i></b>	<i>OFF</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>	<i>OFF</i>
<b><i>PWM = L, Směr = L</i></b>	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	<i>ON</i>	<i>OFF</i>

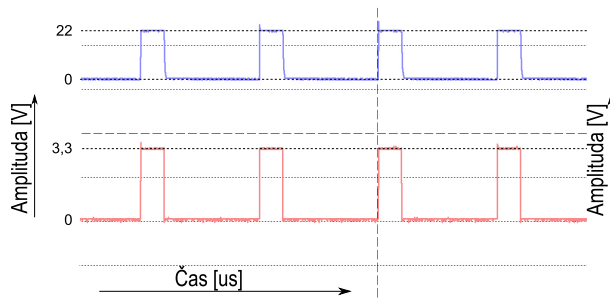
(ON = sepnutý, OFF = rozepnutý)

### 3.2.1 Testy budiče výkonových tranzistorů A3941

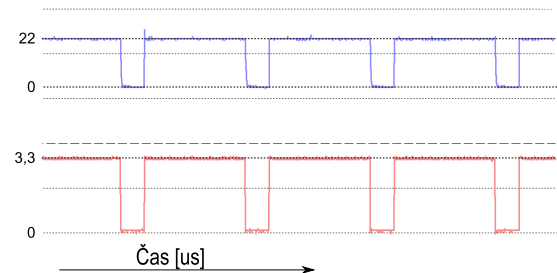
Funkčnost obvodu byla patřičně otestována. Níže uvedené testy byly provedeny s ohmickou zátěží 1 kΩ, obvod totiž vzhledem ke své konstrukci bez zátěže nefunguje správně. Za problémem stojí kondenzátory připojené mezi svorky zátěže a piny obvodu, tyto kondenzátory se bez připojené zátěže nemají možnost vybíjet, takže při vyšší frekvenci spínání (od 100 Hz) jsou tranzistory sepnuty neustále a PWM regulace nefunguje. Tyto kondenzátory jsou pro správnou funkci obvodu nezbytné, nelze je odstranit (8).

Tabulka 3.2: Naměřené hodnoty

Střída [%]	$U_{IN}$ [V]	$U_{OUT}$ [V]	Reálná střída [%]
20	22,1	4,63	20,1
80	22,1	18,11	81,9



Obrázek 3.4 Střída 20%



Obrázek 3.5 Střída 80%

Na obrázcích 3.4 a 3.5 je řídicí signál PWM mikroprocesoru značen červenou barvou, modrou je značen signál na výstupní svorce příslušné zvolenému směru otáčení (POZOR – signály nemají stejné vertikální měřítko).

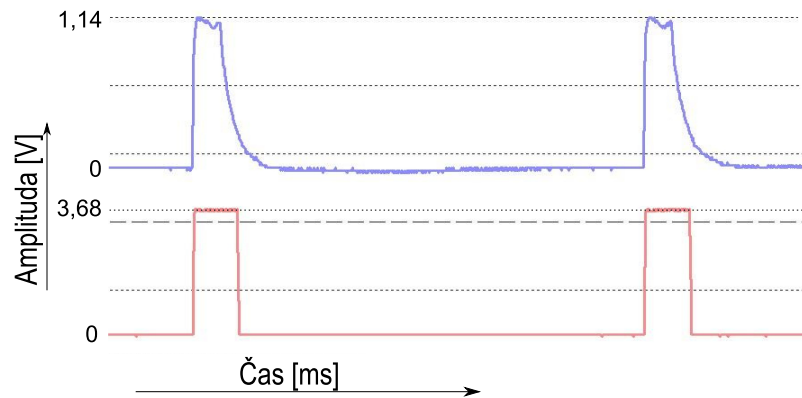
### 3.3 Měření délky odvinutého lana

Výběr vhodného principu snímání byl proveden v rámci předchozí bakalářské práce, tam však nebyl nijak softwarově obsloužen. V rámci této práce byl snímač podroben testům za rozličných okolních podmínek a dostal příslušných úprav, aby bylo měření objektivní i za takto ztížených okolních podmínek, které lze v této aplikaci předpokládat v širokém spektru.

Základní prvek tvoří optická brána, která registruje počet průchodů jednotlivých zubů (1). K eliminaci nežádoucího stejnosměrného posuvu na kolektoru fototranzistoru, způsobeného absorpcí okolního infračerveného záření, je zařazen ještě filtr typu horní propust a tvarovač signálu.

Filtr je tvořen pasivním RC členem. Časová konstanta navrhnutého filtru je  $\tau = 2,7 \text{ ms}$  z toho plynoucí mezní frekvence je  $f_0 \cong 60 \text{ Hz}$ , tato hodnota není však v této aplikaci kritická, úkolem filtru je pouze odstranit stejnosměrnou složku. Šířka pulzu za tímto

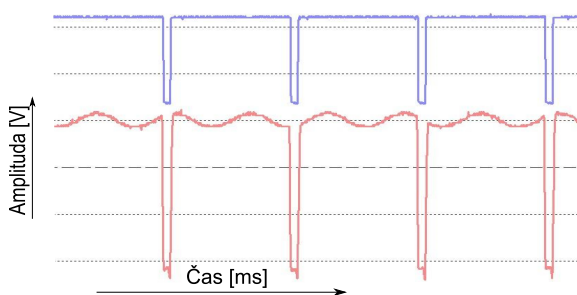
filtrem neodpovídá šířce pulzu na kolektoru fototranzistoru, toto rovněž není v této aplikaci kritické, neboť stačí pouhá registrace průchodu zubu, není nutné detekovat čas výskytu zubu v prostoru optické brány. Protože filtr typu horní propust má derivační charakter, je nutné eliminovat záporné napěťové špičky, toto zajišťuje usměrňovací dioda, která je umístěna na výstupu RC článku.



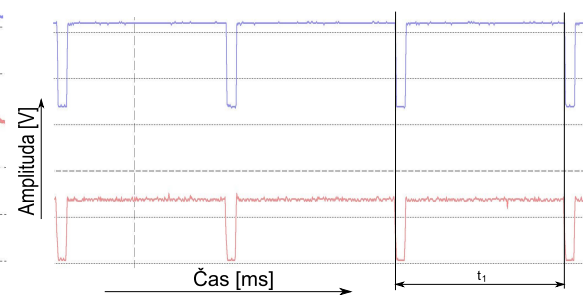
Obrázek 3.6: Výstup RC článku (modře); výstup tvarovače (červeně)

Obrázek 3.6 zachycuje test, kdy clonění probíhalo přibližně při frekvenci  $f_t \cong 110 \text{ Hz}$ , šířka vygenerovaného pulzu za tvarovačem signálu je  $t_w \cong 960 \mu\text{s}$ , tedy dostatečně dlouho pro bezproblémovou detekci mikroprocesorem.

Tvarovač signálu je tvořen neinvertujícím komparátorem bez hystereze sestavený z operačního zesilovače. Komparační úroveň stanovuje odporový dělič, který při napájecím napětí  $5 \text{ V}$  vytváří referenční napětí  $U_{ref} \cong 0,32 \text{ V}$ . Testem bylo dále ověřeno, že na kolektoru fototranzistoru je při nezacloněné diodě  $U_C \cong 2 \text{ V}$ , tato hodnota se působením přímého slunečního záření snižuje až na  $U_C \cong 0,9 \text{ V}$ . Podobné hodnoty bylo dosaženo při přímém dopadu záření z halogenové žárovky. Při zaclonění infračervené diody, je  $U_C \cong U_{CC} = 5 \text{ V}$ .



Obrázek 3.7 Vliv rušivého osvětlení



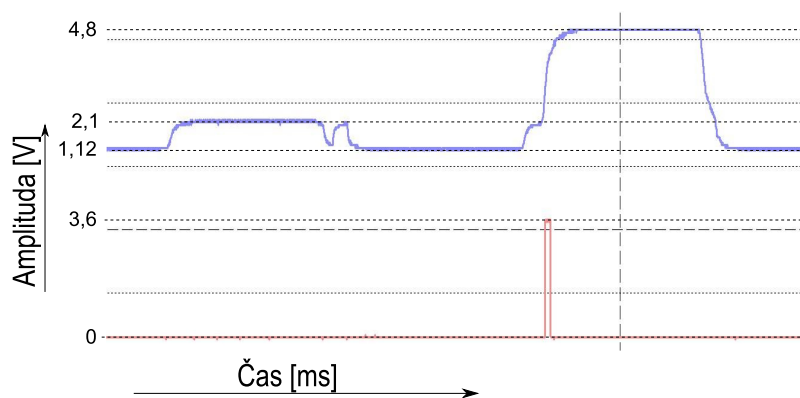
Obrázek 3.8 Tvarování signálu

Na obrázku 3.7 můžeme vidět vliv okolního osvětlení, v tomto případě tvořený halogenovou žárovkou, v průběhu vykresleném červenou barvou, tedy přímo na kolektoru fototranzistoru. Na průběhu vykresleném modrou barvou je vidět průběh signálu na výstupu tvarovače (POZOR – průběhy nemají stejné vertikální měřítko).

Na obrázku 3.8 lze vidět tvarování signálu bez vlivu okolního rušivého osvětlení. Zde  $t_1 = 5,56 \text{ ms}$ , to odpovídá průchodu přibližně 180 zubů za jednu sekundu, při 44 zubech na jednu otáčku bubnu odpovídá tato frekvence čtyřem otočením celého bubnu navijáku za jedinou sekundu. Této rychlosti naviják nikdy nedosáhne (test byl proveden přípravkem se zcela jiným motorem).

Na obrázku 3.9 je možné vidět zachycený test, kdy byl fototranzistor vystaven přímému slunečnímu záření – pokles hodnoty napětí na  $U_C = 1,12 \text{ V}$ , toto sluneční záření bylo narušováno opakovaným zastíněním celého senzoru – rozkmit hodnoty  $U_C$  v rozmezí od  $1,12 \text{ V}$  do  $2,1 \text{ V}$ . Při takto nasimulovaných rušivých vlivech bylo do prostoru mezi emitující diodou a fototranzistor vloženo clonítko, tedy užitečný signál. Obvod tento stav dobře vyhodnotil a vytvořil na výstupu tvarovače impuls.

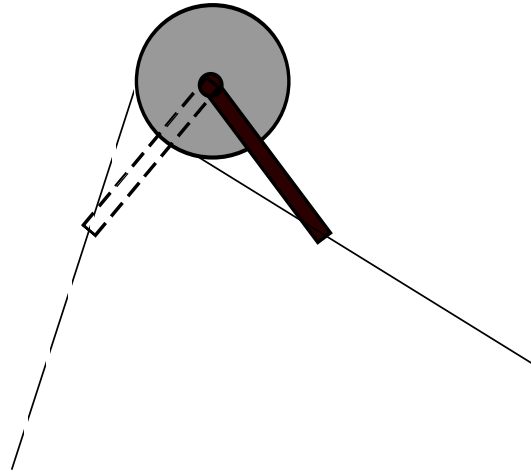
Navrhnutou metodu snímání počtu otočení a následného tvarování lze tedy pro tuto aplikaci použít.



Obrázek 3.9: Eliminace rušivých vlivů

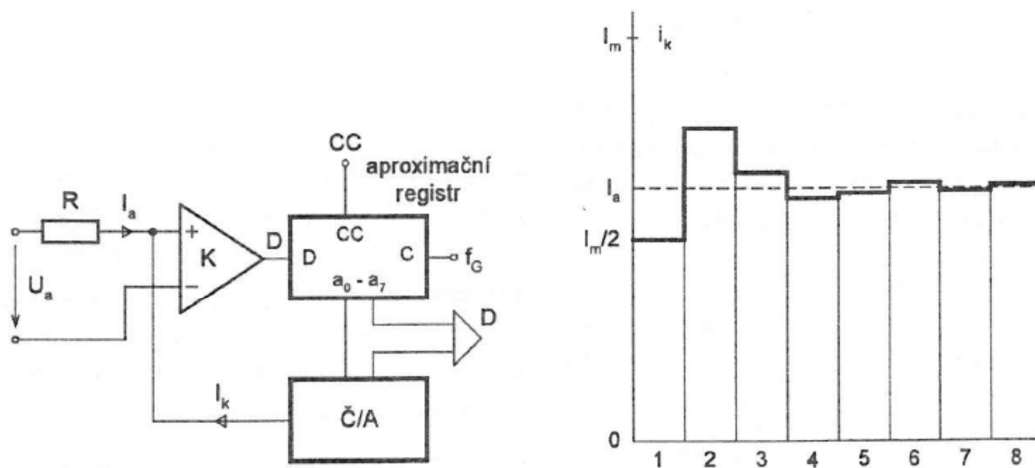
### 3.4 Svíraný úhel

Pro měření úhlu svíraného lanem a horizontální referenční rovinou je využito potenciometru umístěného v ose otáčení lanového vodička. Tento potenciometr funguje jako dělič napětí, které je vyhodnocováno interním AD převodníkem mikroprocesoru, a z této hodnoty určen úhel.



Obrázek 3.10: Princip měření úhlu

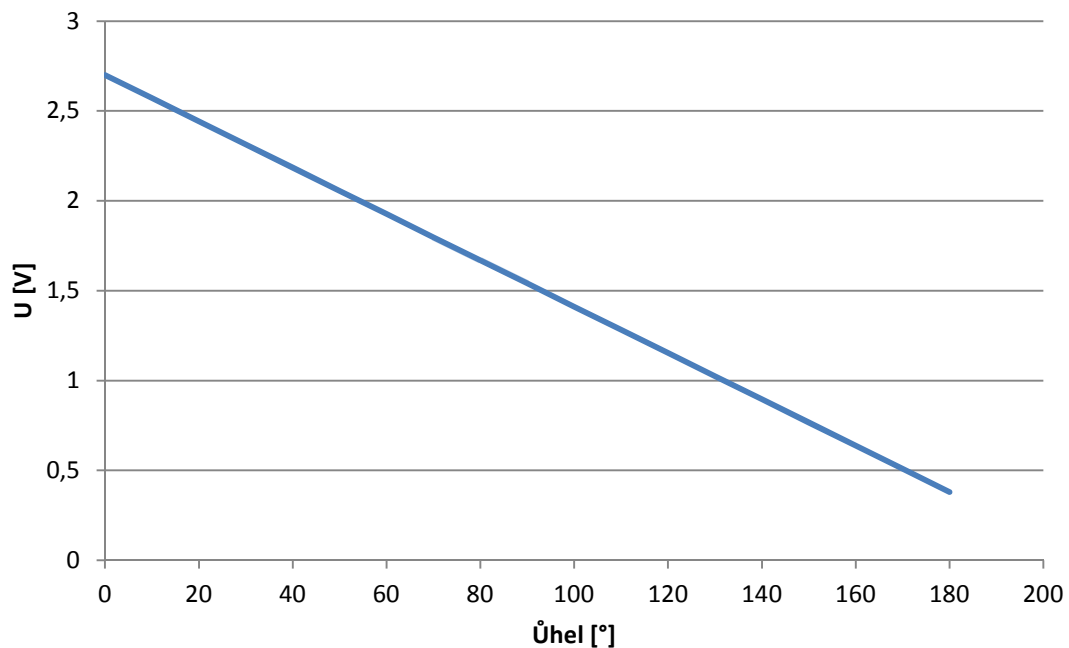
Interní 12b AD převodník procesoru je typu s postupnou aproximací (9), tedy funguje na principu postupného připínání bitů s nejvyšší váhou, zpětným převodem DA převodníkem a komparací se vstupní hodnotou. Po této komparaci se buďto připnutý bit MSB nechá, v případě, že napětí na výstupu DA převodníku je nižší než na vstupu převodníku, v opačném případě se bit MSB vynuluje. Stejným způsobem se postupuje až do bitu LSB (10). Tento typ převodníku však ze své podstaty nemůže pracovat v jednom taktu, proto je zařazen ještě obvod „Sample & Hold“, který zajistí konstantní hodnotu vstupního napětí po celou dobu převodu.



Obrázek 3.11 Princip AD převodníku s postupnou aproximací (10)

V této aplikaci je použit lineární potenciometr o nominální hodnotě  $53\text{ k}\Omega$ , který dělí napájecí napětí procesoru v rozsahu  $< 0; 3,3 > \text{V}$ . Nicméně pracovní rozsah lanového vodička nepokrývá celý rozsah potenciometru, ten je pouze v rozmezí  $< 0; 180 > ^\circ$ , odpovídající odporu  $< 43,7; 6,1 > \text{k}\Omega$ . Měřicí potenciometr tedy funguje jako dělič

napětí v rozsahu  $< 2,7; 0,38 > V$ . Na obrázku 3.12 lze vidět převodní charakteristiku mezi svíraným úhlem lana a vstupním napětím AD převodníku.



Obrázek 3.12 Převodní charakteristika

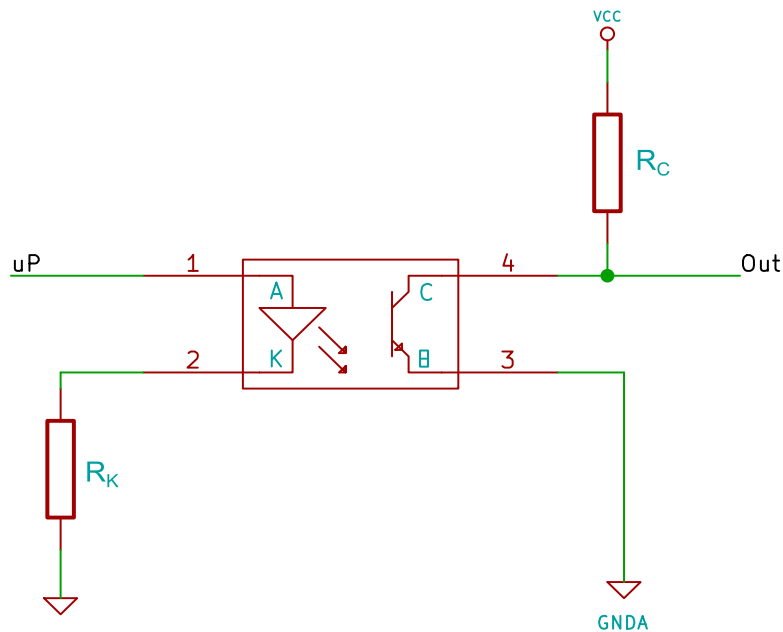
### 3.5 Galvanické oddělení

K zajištění ochrany mikroprocesoru před případnými napěťovými či proudovými špičkami, mající původ ve spínání elektromotoru, bylo mezi zmíněný mikroprocesor a motor zařazeno galvanické oddělení. V této práci se lze setkat se třemi typy galvanického oddělení, volených na základě typu oddělovaného signálu, v následujících odstavcích lze nalézt popisy všech těchto principů.

V této aplikaci je snahou, aby uživatel měl neustálou kontrolu nad celým systémem, tedy aby i v případě eventuální nefunkčnosti obvodu, byl informován o tomto stavu. Dojde-li například k poruše baterie, pro kterou ji nelze použít, nebo k závadě na řízení motoru, bude mít uživatel stále k dispozici komunikaci s řídicím mikroprocesorem, který dokáže takovou situaci vyhodnotit a podat příslušnou informaci. Obsluha tak například na vzniklou situaci může zareagovat bezpečnostním odhozením celé soustavy navijáku i se sondou.

### 3.5.1 Galvanické oddělení digitálních signálů

Ve své podstatě se jedná o nejjednodušší typ signálu pro galvanické oddělení. V této práci bylo využito optočlenu tvořeného emitující LED diodou jako vysílač a fototranzistoru na straně přijímače. Toto řešení je integrováno v jednom pouzdře a není tak ovlivňováno okolním osvětlením.



Obrázek 3.13: Princip optočlenu

LED je buzena přímo pinem mikroprocesoru, tím jak LED svítí je fototranzistor sepnut a na výstupu – kolektoru fototranzistoru je napětí blízké GNDA, pokud LED nesvítí je na kolektoru napětí Vcc. Zde v tomto případě tedy dochází k inverzi signálu, nicméně toto lze podchytit softwarově. Výhoda se zde skrývá i v možném převodu napěťových úrovní, napětí 3,3 V na pinu mikroprocesoru lze převést například na 5 V.

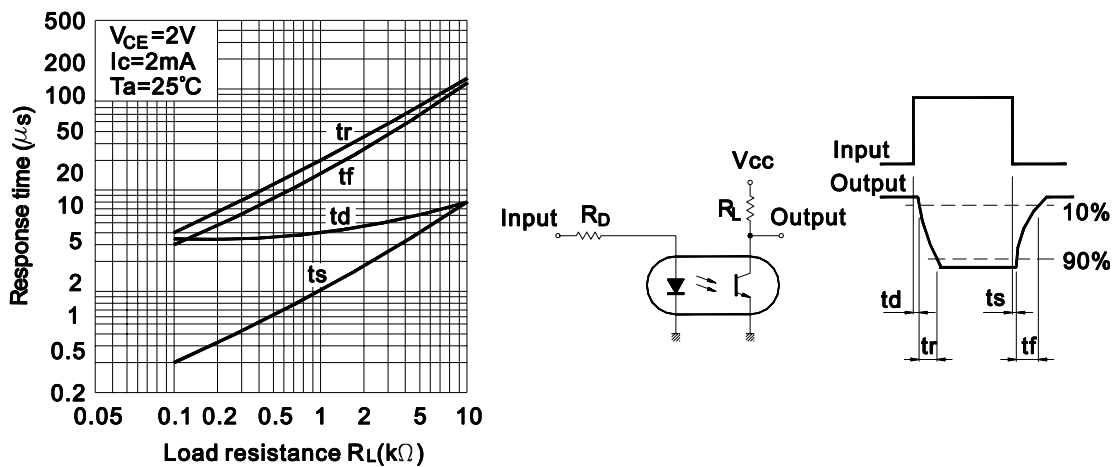
Odpor  $R_K$  je volen s ohledem na proud diodou doporučeným výrobcem viz (11),

$$R_K = \frac{U_{IO}}{I_F} = \frac{3,3}{0,018} \cong 180 \Omega. \quad (3.1)$$

Odpor  $R_C$  je opět volen s ohledem na maximální proud tranzistorem, ale také na strmost hran, neboť tento odpor má přímý vliv na tyto parametry a protože bude optočlen provozován při frekvenci  $f_{opt} = 1 \text{ kHz}$  je nutné brát na toto ohledy. Zvolená hodnota odporu je kompromisem mezi spotřebou a strmostí hran.



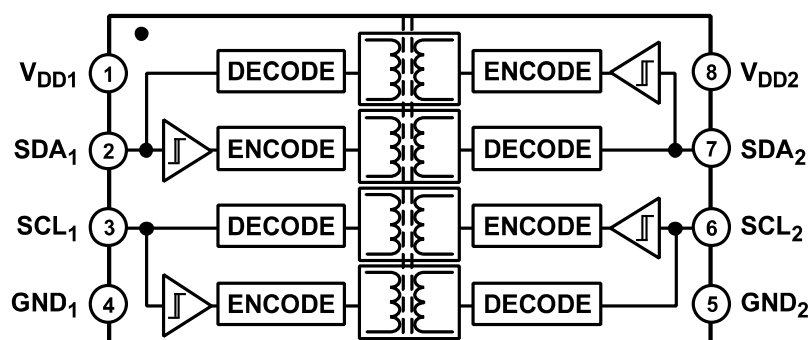
$$R_c = \frac{V_{CC}}{I_c} = \frac{5}{0,002} = 2,5 \text{ k}\Omega. \quad (3.2)$$



Obrázek 3.14 Strmost hran (11)

### 3.5.2 Galvanické oddělení digitálních obousměrných signálů

Výše popsaná metoda galvanického oddělení funguje pouze u jednosměrných signálů, tedy u signálů, kde je jedna strana stále vysílací a druhá strana stále přijímací. Problém nastává v okamžiku, kdy je nutné tento kontext otočit. V této práci je nutné tuto situaci řešit v případě komunikace po sběrnici I2C, konkrétně datového vodiče SDA. V tomto případě bylo použito integrovaného řešení od firmy Analog Devices ADuM1250, které umožňuje jak obousměrnou komunikaci signálového vodiče SDA, tak i referenčního hodinového vodiče SCLK (12).

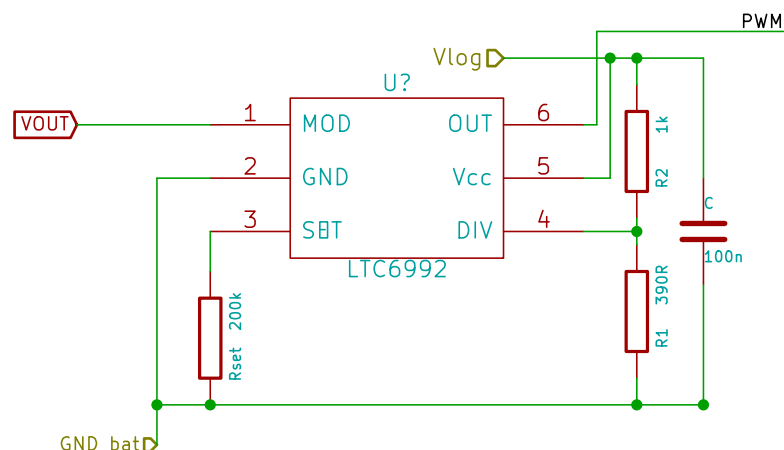


Obrázek 3.15: Oddělení I2C (12)

### 3.5.3 Galvanické oddělení analogových signálů

Analogový signál je zřejmě nejkomplicovanější typ signálu pro galvanické oddělení. V této aplikaci se jedná konkrétně o dva signály  $VOUT$ , a  $IOUT$ .  $VOUT$  je výstup obvodu pro správu baterie, kde je prezentováno napětí na baterii, tento signál se pohybuje v rozmezí  $(0; 0,5)V$ .  $IOUT$  je také výstup obvodu pro správu baterie, kde je prezentován proud odebíraný z baterie. V klidu je na tomto výstupu napětí  $U_{IOUT} = 1,2 V$  v závislosti na směru proudu (nabíjení či vybíjení) se tato hodnota mění o  $\Delta U_{IOUT} = \pm 0,3 V$ . Jako nejvýhodnější se ukázalo užití převodníku napětí na PWM, které již následně není obtížné galvanicky oddělit za pomoci optočlenu, jehož funkce je popsána v „Galvanické oddělení digitálních signálů“.

Jako převodník byl použit integrovaný obvod *Linear technology LTC6992*, který mění střihu výstupního signálu v závislosti na vstupním modulačním napětí v rozsahu  $(0; 1)V$ . Frekvence výstupního signálu lze volit v rozsahu  $4 Hz$  až  $1 MHz$  velikostí připojených rezistorů (13).



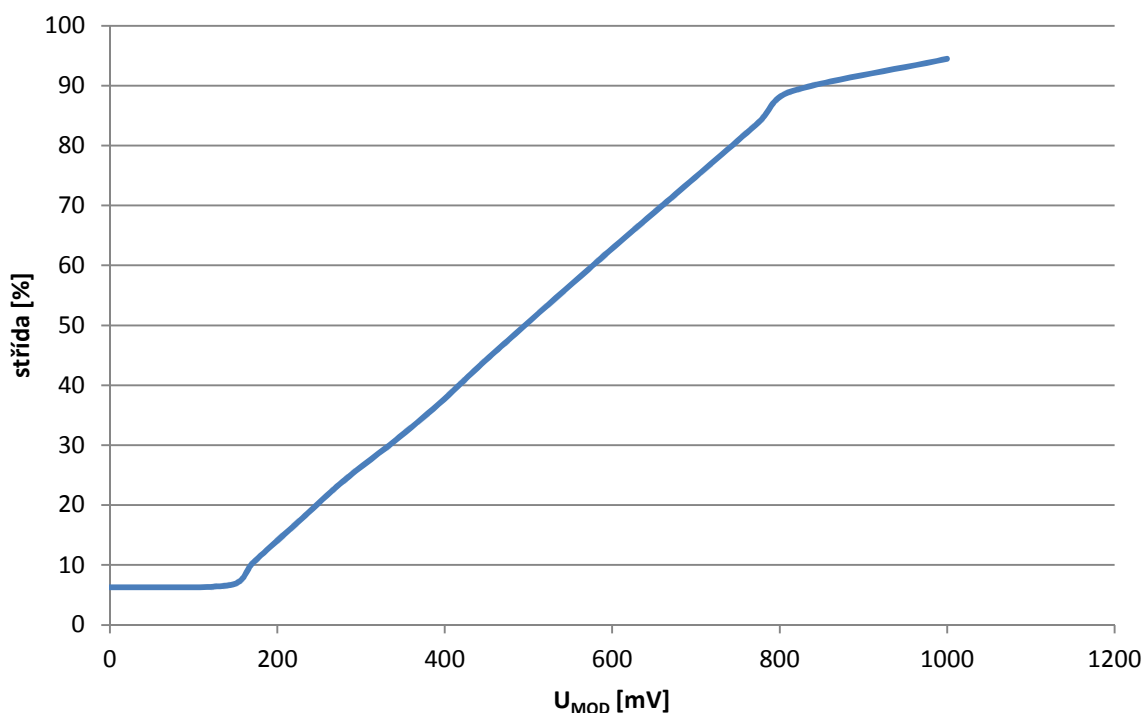
Obrázek 3.16: LTC6992 (13)

Po galvanickém oddělení optočlenem je možné volit zapojení RC filtru, který by PWM opět vyhladil a vytvořil by tak stejnosměrné napětí, které by bylo možné vyhodnotit AD převodníkem. Zde RC člen zapojen není a řídicím mikroprocesorem je měřena přímo střída, ze které je posléze určeno napětí  $VOUT$ ,  $IOUT$ .

Tabulka 3.3: Převodní tabulka napětí na střidu

$U_{MOD}$ [mV]	střída [ $\mu$ s]	střída [%]	$U_{MOD}$ [mV]	střída [ $\mu$ s]	střída [%]
0	64	6,3	453	456	44,7
144	68	6,7	596	636	62,3
171	106	10,4	681	740	72,5
230	182	17,8	775	856	83,9
278	244	23,9	813	908	89
346	320	31,4	1000	964	94,5
399	384	37,6			

Na obrázku 3.17 lze vidět převodní charakteristiku tohoto obvodu, záměrně byla vybrána varianta obvodu, která i při nulovém vstupním napětí generuje střidu 5 % a při vstupním napětí 1 V generuje střidu 95 %. Detekce náběžných a sestupných hran pro zpracování mikroprocesorem je tak možná v celém rozsahu modulačního napětí. Můžeme také vidět, že převodní charakteristika je velice lineární, zanedbáme-li začátek a konec charakteristiky, které jsou ovlivněny metodou měření. Obvod bude využit jen v prostřední lineární části.



Obrázek 3.17: Převodní charakteristika

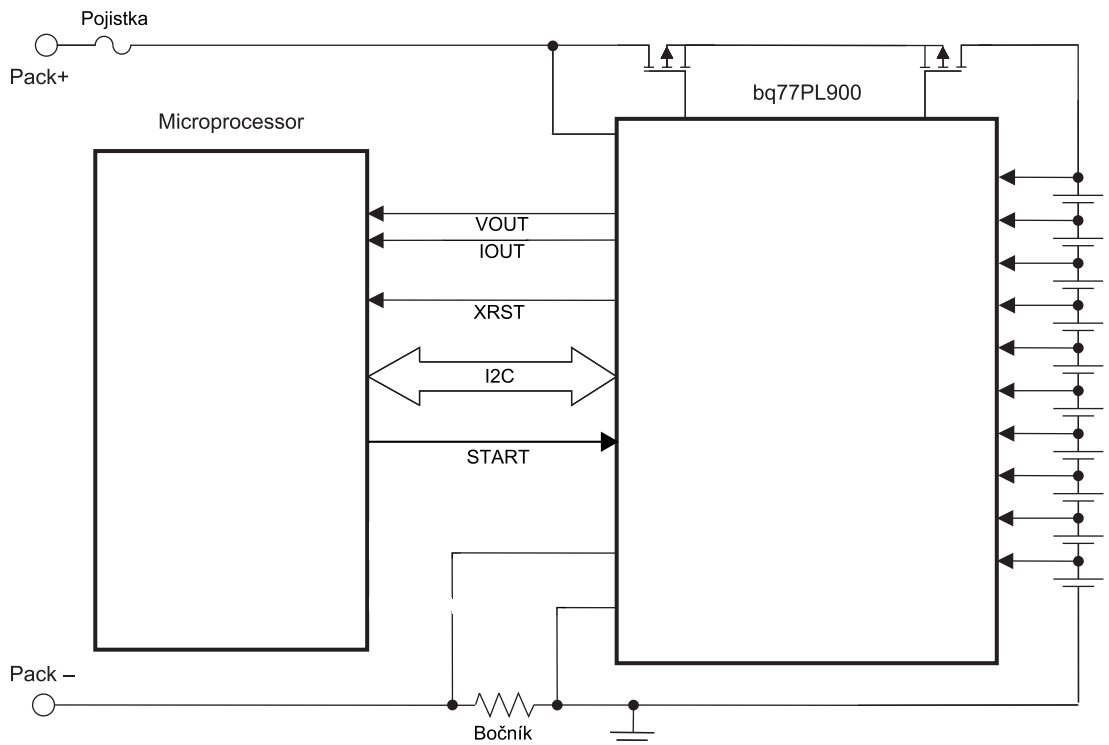
Odporů  $R_1$  a  $R_2$  se volí dle výsledné frekvence požadované na výstupu, kompletní tabulku s hodnotami lze nalézt v (13). Pro frekvence v rozsahu  $< 244,1; 3\,906 > \text{Hz}$  je doporučená konfigurace  $R_1 = 392 \, \Omega$  a  $R_2 = 1\,000 \, \Omega$ . Touto kombinací odporů je také nastaven faktor  $N_{DIV} = 256$ . Odpor  $R_{SET}$  se určí jako (13)

$$R_{SET} = \frac{50 \cdot 10^9}{N_{DIV} \cdot f_{OUT}} = 195\,312,5 \, \Omega. \quad (3.3)$$

Výběrem nejbližší hodnoty z nabízené řady máme  $R_{SET} = 200 \, k\Omega$ .

## 4 Správa baterie

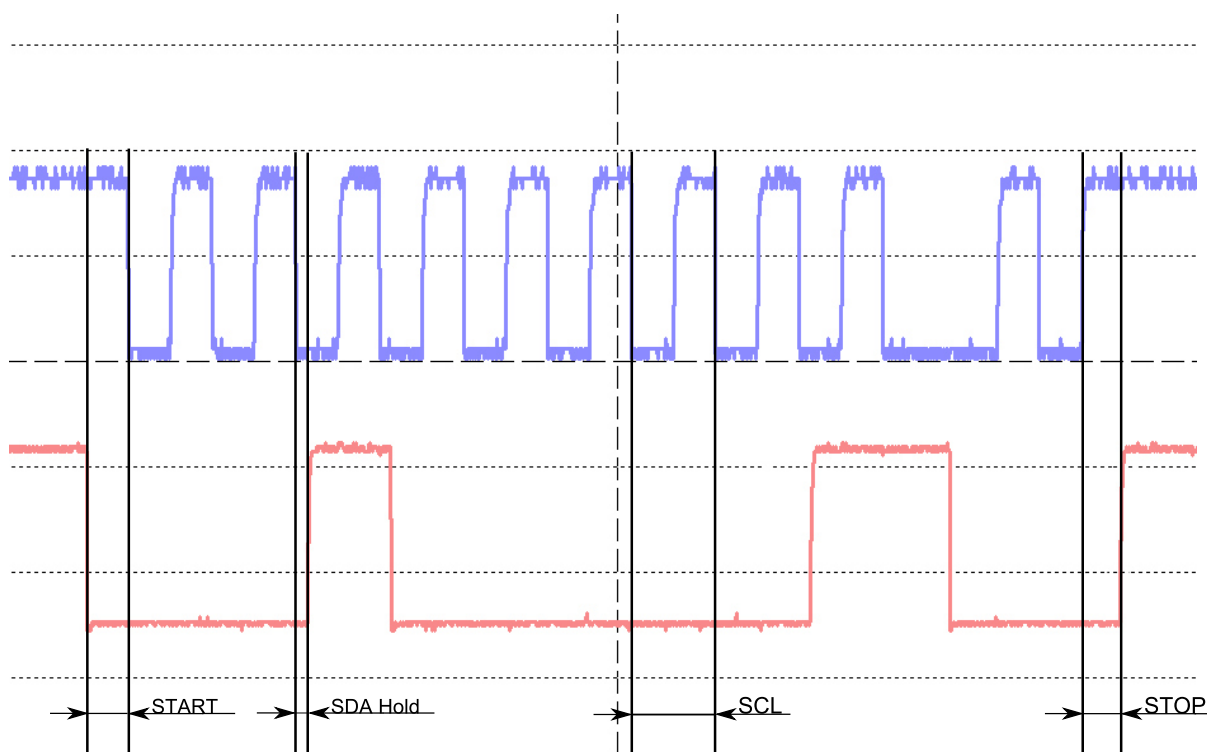
Vzhledem k užití šesti článkové baterie s technologií Li-Pol je nutné zařadit ochranný obvod, který bude nad touto baterií dohlížet a chránit ji i samotnou elektroniku před případným zničením. V rámci bakalářské práce byl vybrán obvod Texas instruments BQ77PL900 a vytvořen vývojový kit. Tento obvod monitoruje napětí na jednotlivých článcích a v případě vybití jednoho z nich pod předepsaný práh informuje nadřazený systém, který tuto situaci vyhodnotí a v případě potřeby rozezne vybíjecí tranzistor (14). Naopak pokud při nabíjení překročí hodnota na jednom z článků předepsaný práh, ochranný obvod rozezne nabíjecí tranzistor, tím je umožněno pouze odebírání proudu z baterie. Dále tento obvod disponuje ochranou nadproudu, tento proud je měřen jako úbytek napětí na proudovém bočníku, při detekci této situace ochranný obvod automaticky odpojí zátěž od baterie a zamezí tak toku tohoto nadproudu, který by mohl elektroniku zničit. Jako poslední ochrana je implementována ochrana před přehřátím, pokud ochranný obvod vyhodnotí z napětí na termistoru, že hrozí přehřátí baterie, automaticky odpojí zátěž.



Obrázek 4.1 Obvod BQ77PL900 a mikroprocesor (14)

## 4.1 Připojení obvodu TI BQ77PL900 k mikroprocesoru

Pro plné využití schopností obvodu lze připojit nadřazený systém, v této aplikaci konkrétně řídicí mikroprocesor. Propojení je realizováno sběrnici IIC, jejíž časování je přehledně uvedeno v tabulce 4.1. Tabulka informuje o nastavení časování bloku IIC mikroprocesoru HC12, dále obsahuje minimální hodnoty požadované obvodem BQ a v posledním sloupci lze nalézt osciloskopem naměřené reálné hodnoty.

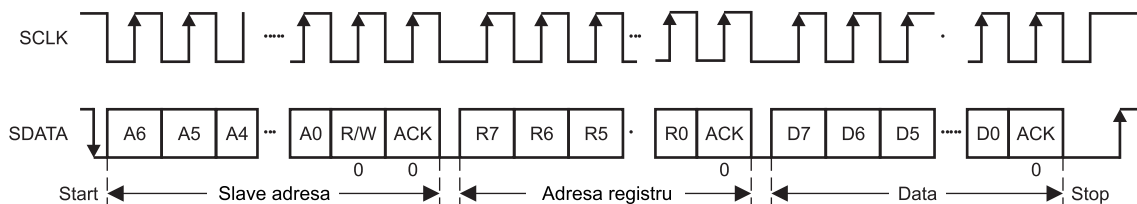


Obrázek 4.2 Časování IIC

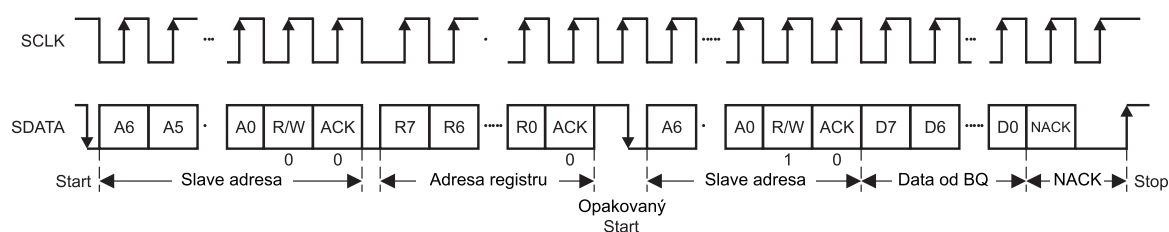
Tabulka 4.1 Časování IIC

	HC12 [ $\mu\text{s}$ ]	BQ [ $\mu\text{s}$ ]	Změřeno [ $\mu\text{s}$ ]
<b>START</b>	29,75	> 4	29,6
<b>SDA Hold</b>	8,125	$\geq 0$	8
<b>SCL</b>	60	> 10	60
<b>STOP</b>	30,125	> 4	30,3

Pro přístup k interním hodnotám registrů, případně pro zápis nových hodnot, je zapotřebí dodržet komunikační protokol uvedený v (14). Cyklus zápisu/čtení je uveden na následujících obrázcích.



Obrázek 4.3 Zápis do registru (14)



Obrázek 4.4 Čtení z registru (14)

Můžeme si povšimnout, že ihned poté, co master (HC12) obdrží požadovaná data od slave (BQ), je masterem vyslán negativní potvrzovací bit (NACK). Tato odlišnost od běžného komunikačního cyklu IIC je dána neúplnou podporou protokolu IIC obvodem BQ. Vzhledem k uzavřenosti protokolu na straně BQ, je nutné se přizpůsobit na straně nadřazeného systému. Je dobré poznamenat, že obvod BQ v komunikačním řetězci vystupuje vždy jako slave s pevně nastavenou adresou 0x20.

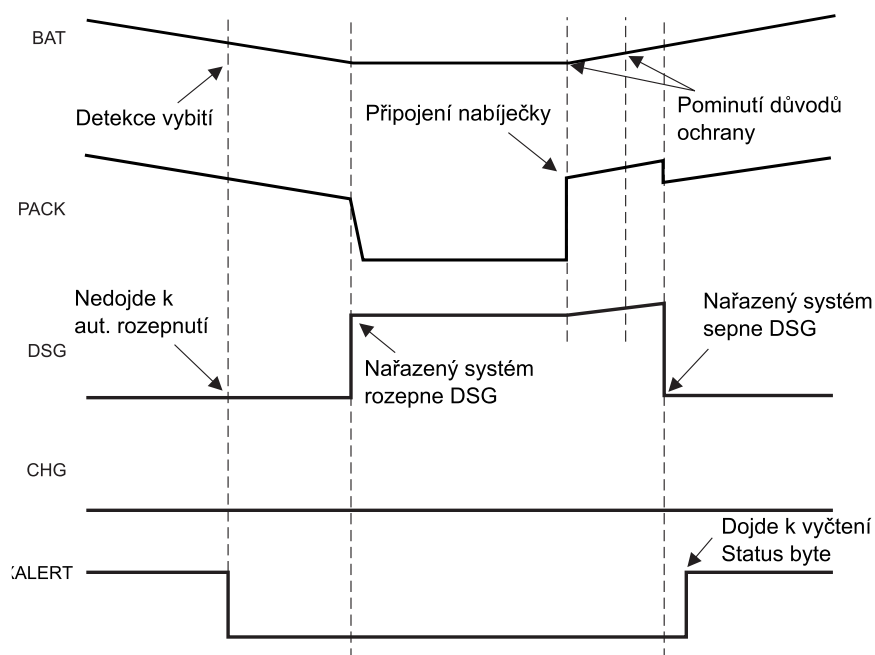
Celý paměťový prostor obvodu BQ je rozdělen do dvou typů pamětí, RAM a EEPROM. V paměti EEPROM se nachází registry, které uchovávají prahové hodnoty pro vyhodnocování stavů podvybití, přebití, nadproud/zkrat a jim příslušející časové prodlevy zásahu. Vzhledem k typu paměti zůstávají tyto hodnoty v paměti uchovány i při vypnutí napájení, nicméně cyklus zápisu je o něco více komplikovaný, nežli zápis do registru v RAM. Podrobněji je paměť EEPROM popsána v kapitole „Programování EEPROM obvodu BQ77PL900“. V RAM se nachází stavové a konfigurační registry, do těchto registrů je možné zapisovat dle 4.3 Obrázek 4.3 Zápis do registru, avšak při každém opětovném zapnutí je nutné tyto registry příslušně nastavit. Kompletní tabulka všech registrů s uvedením do jakého typu paměti patří včetně popisu a defaultních hodnot je uvedena v (14).

## 4.2 Popis jednotlivých stavů

Detailní popis jednotlivých stavů v režimu „Stand alone“, ve kterých se může baterie, potažmo ochranný obvod nacházet, byla podrobně popsána v (1). Protože ale nyní pracuje obvod v režimu s nadřazeným mikroprocesorem, je jeho chování trochu odlišné.

### 4.2.1 Přílišné vybití

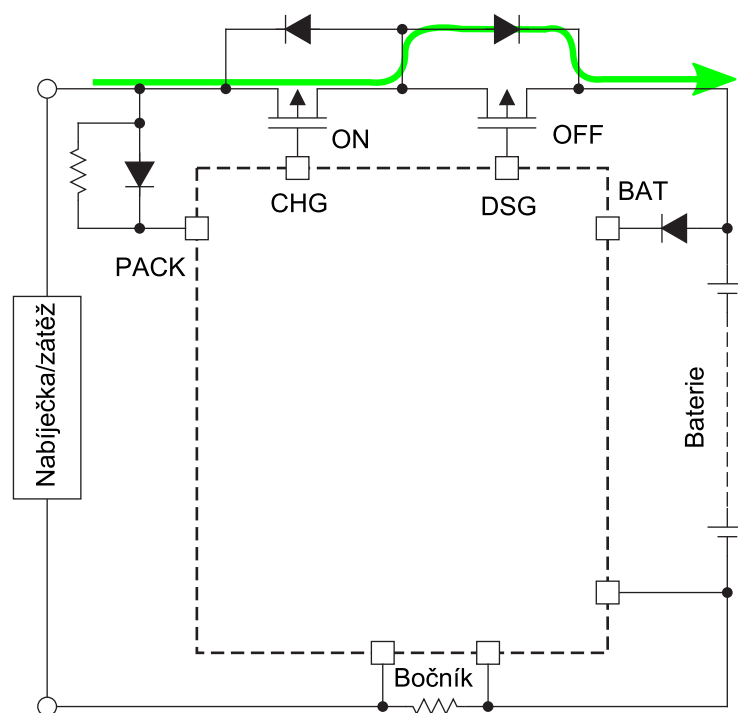
Obvod monitoruje prostřednictvím servisního konektoru napětí na jednotlivých člancích baterie, pokud napětí na jednom z nich klesne pod určitý práh (viz „Programování EEPROM obvodu BQ77PL900“), obvod tento stav detekuje jako přílišné vybití baterie. V režimu s nadřazeným systémem existují dvě možnosti jak na tuto situaci zareagovat. První konfigurace umožňuje autonomní rozepnutí vybíjecího tranzistoru DSG, toto chování v této aplikaci ale není ideální, protože k vybití baterie může dojít během měření, kdy bude sonda odvinuta několik metrů pod letounem. Řešením tohoto problému je druhá varianta, kdy sice obvod detekuje stav přílišného vybití, vybíjecí tranzistor však není autonomně rozeprt, to udělá, až nadřazený systém po detekci změny ve stavovém registru o kterém je informován změnou logické úrovně signálu XALERT ze stavu H do stavu L. V čase mezi detekcí přílišného vybití a rozeprtím vybíjecího tranzistoru může být sonda nouzově zatažena do klidové polohy. Výběr jednoho z těchto režimů je popsán v „Programování EEPROM obvodu BQ77PL900“.



Obrázek 4.5 Cyklus vybití (14)



Z obrázku 4.5 je patrné, že s připojenou zátěží konstantně klesá napětí na baterii, potažmo chráněným svorkám (PACK), v okamžiku, kdy napětí na baterii klesne pod příslušný práh, je detekován stav vybití a nadřazený systém je informován změnou signálu XALERT. Rozepnutí tranzistoru DSG a jeho opětovné sepnutí po pominutí podmínek pro detekci stavu vybití je zcela v režii nadřazeného systému. Pro přepnutí signálu XALERT zpět do vysoké úrovně musí nadřazený systém provést zápis log. 1 do bitu *LTCLR* v registru *Output Control* a posléze zápis log. 0 do téhož bitu. Poté je přečtením *Status byte* resetován signál XALERT. Pak již může nadřazený systém zaslat příkaz pro sepnutí vybíjecího tranzistoru.



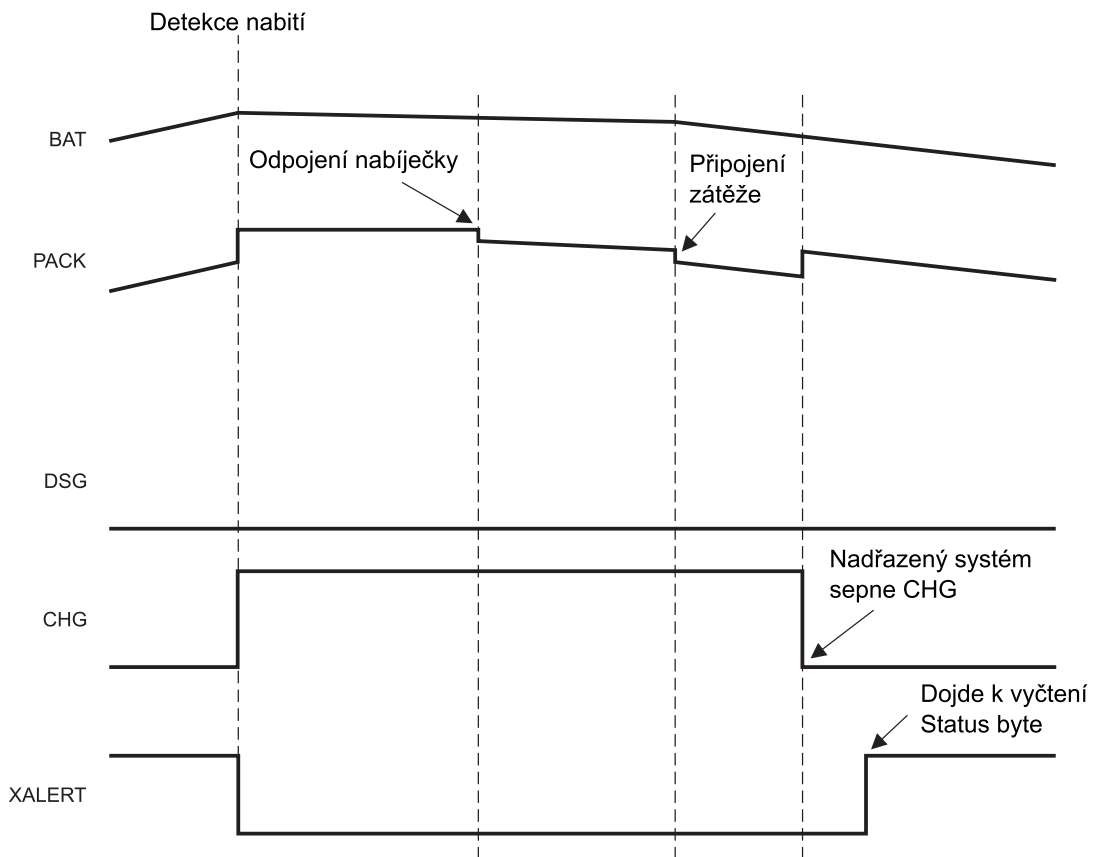
Obrázek 4.6 Stav vybití (14)

Na obrázku 4.6 je znázorněn stav přílišného vybití, kdy je vybíjecí tranzistor rozepnut, nýbrž nabíjecí sepnut a tak je umožněno proudu téci pouze z nabíječky do baterie, nikoli obráceně.

#### 4.2.2 Přílišné nabití

Obvod monitoruje prostřednictvím servisního konektoru napětí na jednotlivých člancích baterie, pokud napětí na jednom z nich vzroste nad určitý práh (viz „Připojení obvodu TI BQ77PL900 k mikroprocesoru“), obvod tento stav detekuje jako přílišné nabití baterie. Oproti stavu přílišného vybití je zde pouze jedna možnost reakce na takto

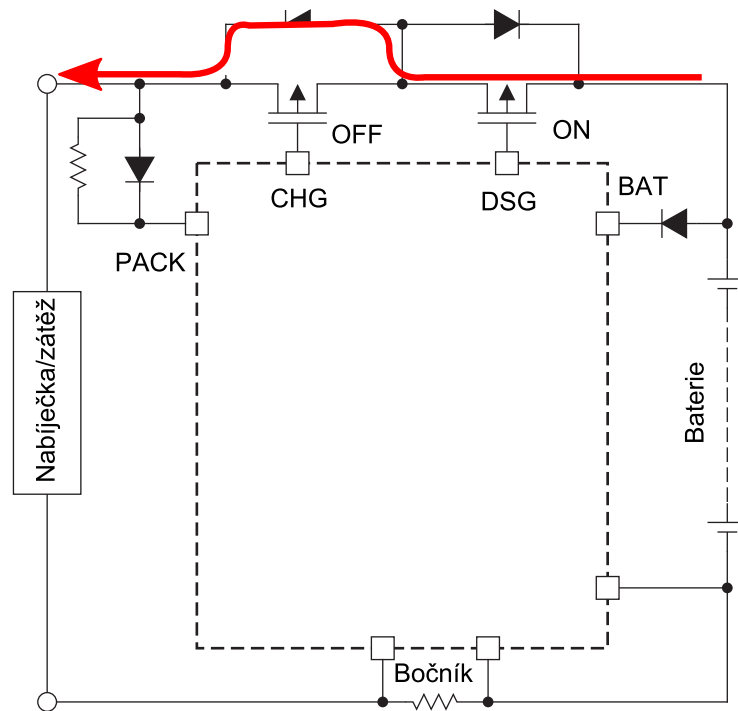
vzniklou situaci. Při stavu přílišného nabití dojde vždy k autonomnímu rozpojení nabíjecího tranzistoru, tím je zabráněno dalšímu nabíjení baterie.



Obrázek 4.7 Cyklus nabíjení (14)

Z obrázku 4.7 je patrné, že napětí na baterii vlivem jejího nabíjení konstantně roste až do okamžiku, kdy obvod detekuje plné nabití, po této detekci je autonomně rozepnut nabíjecí tranzistor CHG. Pro návrat do běžného provozu je nutné pominutí podnětů pro stav přílišného nabití provést zápis log. 1 do bitu *LTCLR* v registru *Output Control* a posléze zápis log. 0 do téhož bitu. Poté je přečtením *Status byte* resetován signál XALERT. Pak již může nadřazený systém zaslat příkaz pro sepnutí nabíjecího tranzistoru.

Na obrázku 4.8 je znázorněn stav přílišného nabití, kdy je nabíjecí tranzistor rozepnut, nýbrž vybíjecí sepnut a tak je umožněno proudu téci pouze z baterie do zátěže, nikoli obráceně.



Obrázek 4.8 Stav nabití (14)

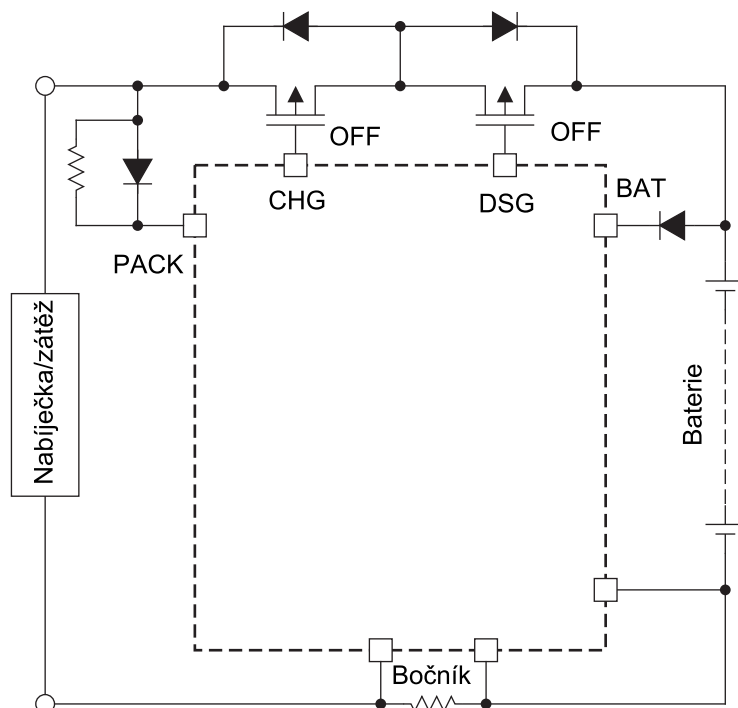
### 4.2.3 Nadproud, zkratový proud

Proud tekoucí z baterie nebo naopak do baterie je měřen jako úbytek napětí na proudovém bočníku, tvořeného velmi malým odporem. Obvod rozlišuje dva druhy nadproudu. Oba tyto druhy se liší jak velikostí detekovaného proudu, tak i časovým zpožděním, než na vzniklou situaci obvod zareaguje.

„Nadproud“ – odpovídá zvýšení odběru zátěže, tedy malé navýšení proudu po vcelku dlouhý čas, který je možné nastavit v konfiguračním registru (až 1,6 s), konkrétní možné konfigurace lze nalézt v (14).

„Zkratový proud“ – odpovídá zkratu na výstupu obvodu, tedy velký nárůst proudu po velice krátký čas, který je také možné nastavit v konfiguračním registru (max. 900  $\mu$ s), konkrétní možné konfigurace lze nalézt v (14).

Při detekci jedné z obou výše zmíněných situací je autonomně rozepnut nabíjecí tranzistor CHG i vybíjecí tranzistor DSG. Pro návrat do běžného stavu je nezbytné odeznění podmínek pro stavy nadproudu/zkratového proudu, provést zápis log. 1 do bitu *LTCLR* v registru *Output Control* a posléze zápis log. 0 do téhož bitu. Poté je přečtením *Status byte* resetován signál XALERT. Pak již může nadřazený systém zaslat příkaz pro sepnutí obou tranzistorů.



Obrázek 4.9 Stav přehřátí/nadproudu (14)

Na obrázku 4.9 je znázorněn stav nadproudu či zkratu, kdy je nabíjecí i vybíjecí tranzistor rozepnut, tak není umožněno proudu téci v jakémkoli směru.

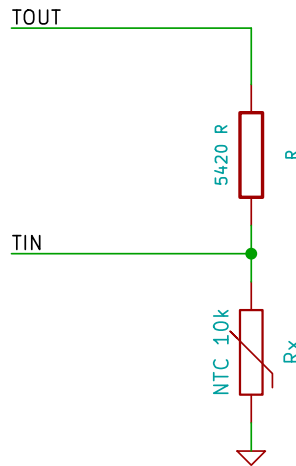
#### 4.2.4 Přehřátí baterie

Obvod také obsahuje tepelnou ochranu baterie, díky které je v případě abnormální teploty baterie zátěž odpojena. Obvod monitoruje napětí na pinu  $TIN$  a pokud napětí klesne pod hodnotu  $0,975 V$ , vyhodnotí tento stav jako přehřívání baterie. Pro návrat do běžného stavu je nezbytné, aby napětí  $TIN > 1,075 V$ , poté je nutné provést zápis log. 1 do bitu  $LTCLR$  v registru *Output Control* a posléze zápis log. 0 do téhož bitu. Poté je přečtením *Status byte* resetován signál  $XALERT$ . Pak již může nadřazený systém zaslat příkaz pro sepnutí obou tranzistorů. Pro napájení senzoru teploty je obvod vybaven pinem  $TOUT$  na kterém je po aktivaci nadřazeným systémem k dispozici napětí  $U_{TOUT} = 3,3 V$ . Stav tranzistorů v tomto stavu je na obrázku 4.9.

Vhodná provozní teplota Li-Pol baterií je v rozmezí  $< 0; 60 > ^\circ C$ , proto je zapotřebí navrhnout odporový dělič, který zajistí napětí na pinu  $TIN$  právě když teplota baterie dosáhne maximální teploty  $60 ^\circ C$ . Závislost hodnoty odporu na teplotě termistoru NTC je dána vztahem

$$R = R_0 \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}, \quad (4.1)$$

kde  $R$  [ $\Omega$ ] je odpor při teplotě  $T$  [ $K$ ],  $R_0$  [ $\Omega$ ] je nominální odpor při teplotě  $T_0$  [ $K$ ], tato hodnota bývá zpravidla udávána pro teplotu  $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $B$  [ $K$ ] je konstanta NTC termistoru udávána výrobcem.



Obrázek 4.10 Zapojení NTC termistoru

Podíl napětí termistoru  $U_{R_X}$  a  $U_R$  je přímo úměrný podílu odporu termistoru a odporu rezistoru  $R$ .

$$\frac{U_R}{U_{R_X}} = \frac{R}{R_X} \quad (4.2)$$

Po úpravě

$$R = \frac{R_X \cdot U_{TOUT}}{U_{TIN}} - R_X \quad (4.3)$$

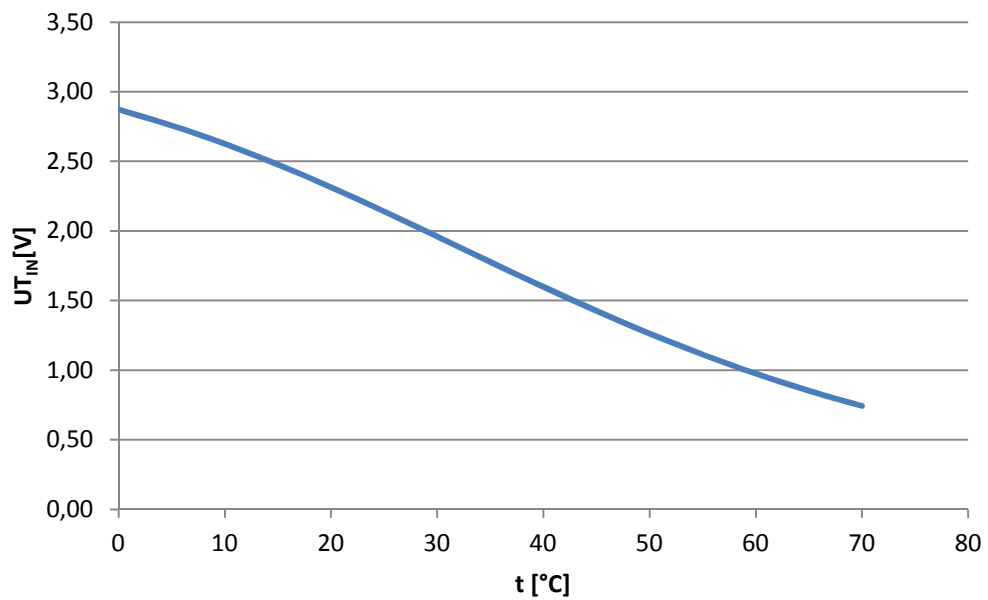
Dosazením  $R_X = 10\,000$ ;  $U_{TOUT} = 3,3$ ;  $U_{TIN} = 0,975$  získáme  $R = 5\,420 \Omega$ . Průběh napětí je vypsán v tabulce 4.2. Použitý NTC termistor má nominální hodnotu odporu  $R_0(25 \text{ }^\circ\text{C}) = 10 \text{ k}\Omega$  a konstantu  $B = 4\,200 \text{ K}$ .

Tabulka 4.2 Závislost NTC termistoru

$t$ [°C]	$R_X$ [Ω]	$U_{TIN}$ [V]
0	36 351	2,87
5	27 564	2,76
10	21 107	2,63
15	16 312	2,48
20	12 718	2,31
25	10 000	2,14
30	7 924	1,96

$t$ [°C]	$R_X$ [Ω]	$U_{TIN}$ [V]
35	6 328	1,78
40	5 089	1,60
45	4 121	1,43
50	3 359	1,26
55	2 755	1,11
60	2 273	0,97
65	1 886	0,85

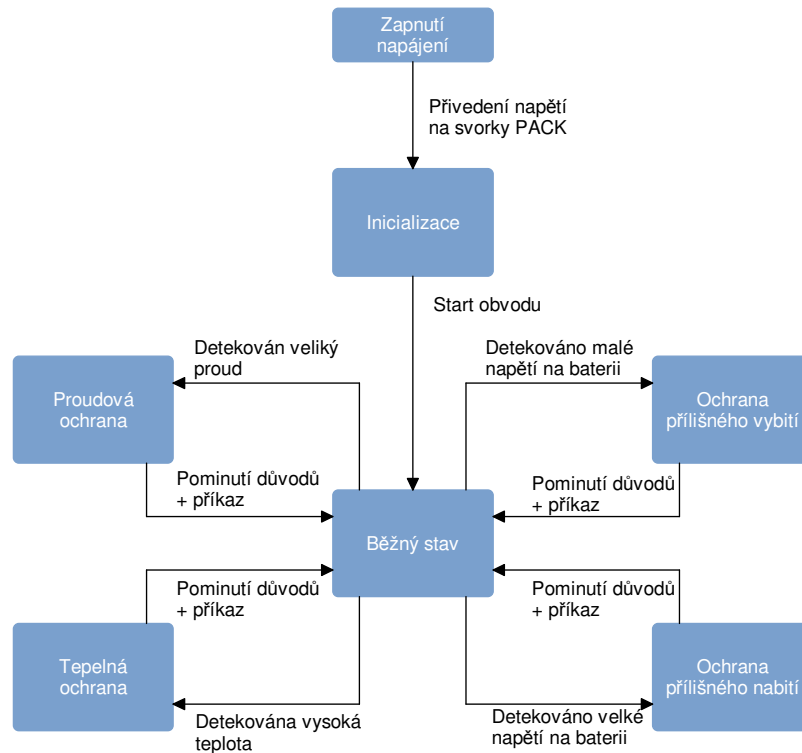
Na obrázku 4.11 je vidět závislost napětí NTC termistoru na teplotě.



Obrázek 4.11 Závislost NTC termistoru

### 4.2.5 Schématické znázornění přechodů mezi stavy

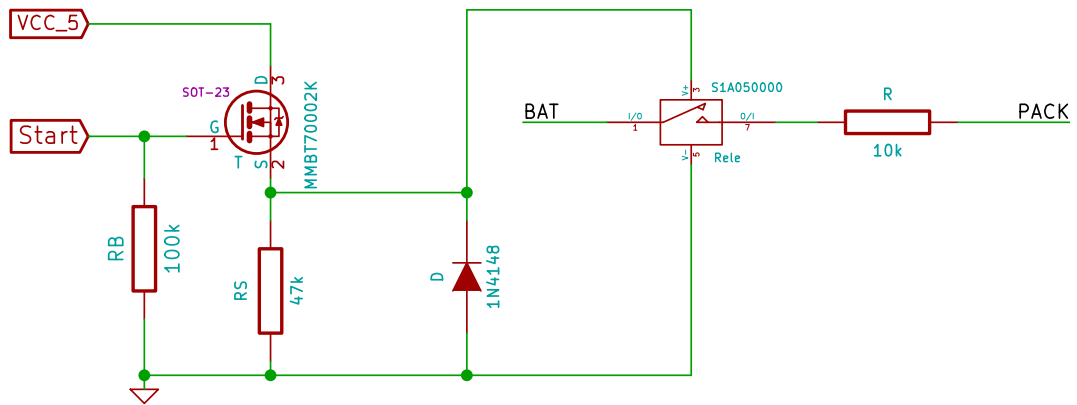
Na obrázku 4.12 lze přehledně vidět přechody mezi jednotlivými stavy a podmínky nutné k přechodu.



Obrázek 4.12 Přechod mezi stavy

### 4.3 Start obvodu TI BQ77PL900

Po přivedení napájení se ochranný obvod nachází ve stavu se sníženou spotřebou, ve kterém jsou oba tranzistory rozepnuty a není možné použít komunikaci I2C. Krátkodobým přivedením napětí  $U_{start} \geq 7,5 V$  na pin PACK se obvod uvede do běžného chodu. Tento pulz je v této aplikaci vyřešen přemostěním pinů BAT a PACK spínacím relé ovládaným mikroprocesorem. Jelikož je cívka spínacího relé konstruována pro napětí  $U_{rel} = 5 V$ , je nutné ještě mezi tuto cívku a pin mikroprocesoru zařadit spínací tranzistor, neboť IO piny disponují napětím  $U_{IO} = 3,3 V$ .



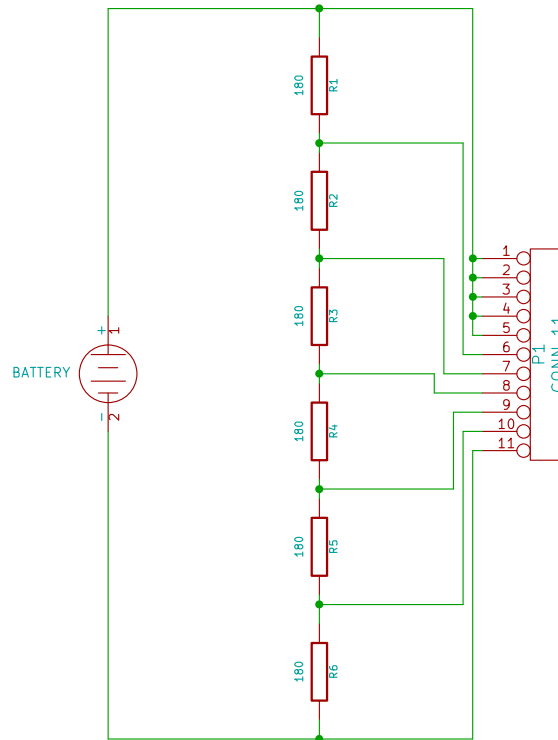
Obrázek 4.13 Schéma přemostění

Přivedením napětí na řídicí elektrodu tranzistoru T dojde k jeho sepnutí, tím je uzavřen obvod skrze odpor  $RS$  a jím protékající proud na něm způsobí úbytek napětí, kterým je ovládáno relé. Úbytek napětí mezi elektrodou „source“ a „drain“ je zanedbatelný, při proudu cívky relé  $I_r = \frac{U_{VCC5}}{R_r} = 10 \text{ mA}$ , kde  $U_{VCC5} = 5 \text{ V}$  a  $R_r = 500 \Omega$  (15) je odpor cívky relé, a odporu tranzistoru v sepnutém stavu  $R_{DS(ON)} = 4 \Omega$  (16) je úbytek napětí  $U_{DS} = I_r \cdot R_{DS(ON)} = 40 \text{ mV}$ . Rezistor  $RB$  slouží k vybíjení parazitní kapacity elektrody „gate“. Rezistor  $R$  slouží k omezení maximálního protékajícího proudu kontakty relé a dioda  $D$  slouží k eliminaci napěťových špiček vznikajících při rozepínání relé.



## 4.4 Testy obvodu TI BQ77PL900

Pro první testování v laboratorních podmínkách byl sestrojen pomocný obvod pro simulování jednotlivých článků baterie, jeho schéma naleznete na obrázku 4.14.



Obrázek 4.14: Simulátor baterie

Tento dělič simuluje 6 článků baterie, kde má jeden článek jmenovité napětí  $3,7\text{ V}$ , potažmo  $22,2\text{ V}$  celá baterie. K sestrojení takto simulované baterie vedla snaha k ochraně skutečné Li – Pol baterie před možným poškozením, další výhodou použití takto simulované baterie je velice rychlá a pohodlná změna jmenovitého napětí celé baterie a tím možnost simulovat přebití nebo podvybití.

Piny 1 – 5 na konektoru jsou propojeny úmyslně, vzhledem ke skutečnosti, že obvod BQ77PL900 umí spravovat baterie až o 10 článcích, je nutné při použití baterie o méně článcích zbylé vstupní piny obvodu pro správu baterie připojit na nejvyšší potenciál použité baterie. Při použití baterie o méně než 10 článcích, je nutné také správně nakonfigurovat piny *CNF0*, *CNF1*, *CNF2*, celou tabulku lze nalézt v (14), pro zde použitou 6 článkovou je konfigurace uvedena v tabulce 4.3.

Tabulka 4.3: Konfigurace pinů CNF2,1,0

<i>CNF2</i>	<i>CNF1</i>	<i>CNF0</i>
<i>VLOG</i>	<i>GND</i>	<i>GND</i>

Připojení k *GND* se provádí přímo, připojení k *VLOG* je realizováno přes  $10\text{ k}\Omega$  rezistor. V následujících odstavcích jsou testy uvedeny pro 6 článkovou baterii a defaultní nastavení rozhodovacích prahů napětí.

### Běžný stav (BS)

V běžném stavu se obvod nachází, je-li vstupní napětí v rozmezí  $8,4 - 24,9\text{ V}$ , tyto hodnoty odpovídají  $1,4 - 4,15\text{ V}$  na jednotlivý článek.

### Podvybití (UV)

K docílení tohoto stavu stačilo pouze snížit napájecí napětí.

### Přebytí (OV)

K docílení tohoto stavu stačilo pouze zvýšit napájecí napětí.

### Nadproud (OCD/SCD)

V tomto testu byl snímací rezistor nahrazen potenciometrem, který simuloval zvýšení odebíraného proudu. V tomto testu bylo nominální napětí nastaveno na  $22,2\text{ V}$  a zátěž tvořil rezistor  $R = 3\,600\ \Omega$ , obvodem tedy tekla proud  $I_Z = 6,2\text{ mA}$ . Protože rozhodovací úroveň pro detekci nadproudu je  $U_{OC} = 10\text{ mV}$ , je při proudu  $I_Z$  nutné změnit hodnotu snímacího rezistoru (potenciometru) na  $R = \frac{U_{OC}}{I_Z} = 1,6\ \Omega$ .

### Vysoká teplota (OVT)

Simulace tohoto stavu tedy spočívá v přiřazení příslušného napětí na pin TIN.

Pro potřeby testování, byl obvod BQ77PL900 připojen k řídicímu mikroprocesoru HC12, který prostřednictvím sběrnice IIC vyčítal stavový registr *Status Register*, ten má následující složení (14).

Tabulka 4.4 Stavový registr

Adresa 0x00							
7	6	5	4	3	2	1	0
<b>CHG</b>	<b>DSG</b>	<b>VGOOD</b>	<b>OVTEMP</b>	<b>UV</b>	<b>OV</b>	<b>OCD</b>	<b>SCD</b>

**CHG/DSG** – Stav tranzistoru **CHG/DSG** (0 rozepnutý, 1 sepnutý)

**VGOOD** – Indikuje napěťovou podmínku pro paměť EEPROM (0 napájecí napětí je menší než definované napětí pro EEPROM, 1 napájecí napětí je rovno nebo větší než definované napětí pro EEPROM)

**OVTEMP** – Indikuje přehřátí baterie (0 běžná teplota, 1 vysoká teplota)

**UV/OV** – Indikuje podvybití/přebití baterie (0 běžný stav, 1 podvybití/přebití)

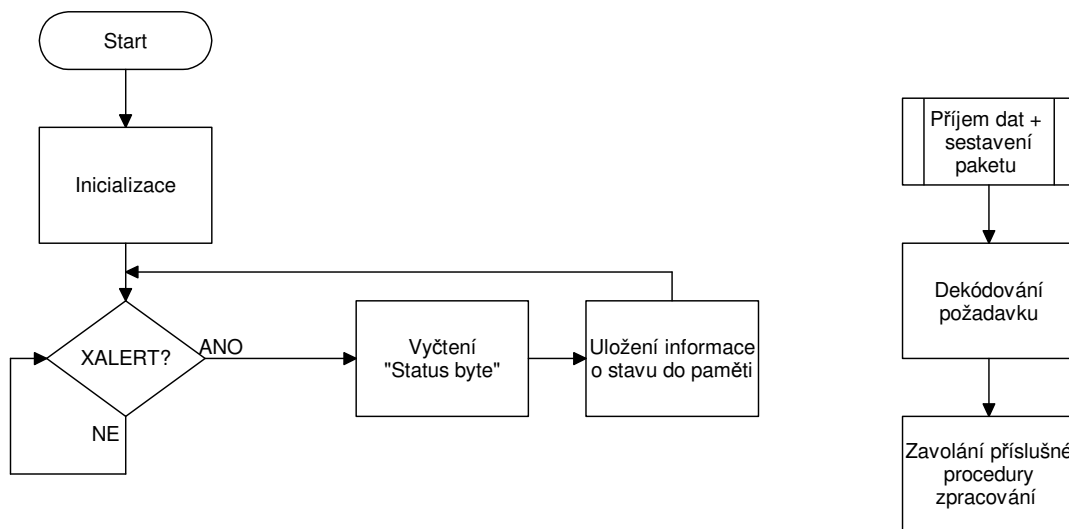
**OCD/SCD** – Indikuje přetížení/zkrat (0 běžný stav, 1 přetížení/zkrat)

Pin **XALERT** indikuje přechod obvodu z běžného stavu do jakéhokoli jiného. Tento pin lze pak výhodně použít jako přerušení pro nadřazený mikroprocesor, který na vzniklou situaci může reagovat. Tabulka 4.4 přehledně ukazuje naměřené a zjištěné hodnoty.

Tabulka 4.5 Testy stavů

Stav	$U_{IN}[V]$	$U_{GSCHG}[V]$	$U_{GSDSG}[V]$	$U_{XALERT}[V]$	Status byte [bin]
<b>BS</b>	22,2	-11,1	-11,2	3,3	11000000
<b>UV</b>	8	-6,9	0	0	10001000
<b>OV</b>	25,5	0	-11,2	0	01000100
<b>OCD</b> <b>/SCD</b>	22,2	0	0	0	00000011
<b>OVT</b>	22,2	0	0	0	00010000
<b>OVT</b> <b>+ OV</b>	26,2	0	0	0	00010100
<b>OVT</b> <b>+ UV</b>	8	0	0	0	00011000

## 5 Firmware



Obrázek 5.1 Hlavní smyčka

Hlavní smyčka programu je zobrazena na obrázku 5.1.

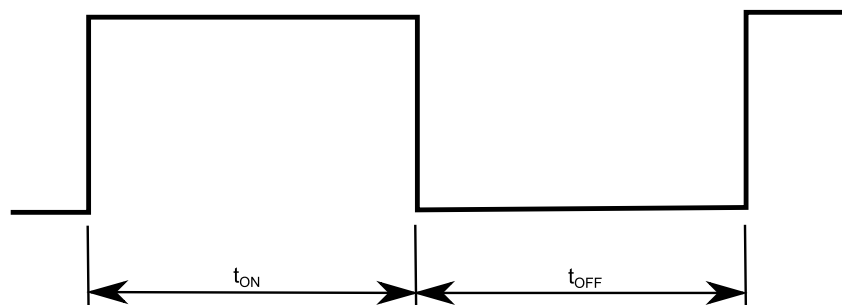
Po startu mikroprocesor nejprve provede inicializaci sebe samého včetně nastavení všech jeho periférií, jako jsou obě sériové linky, sběrnice IIC, děličky pro generování PWM, čítač pro generování signálu pro servomotor, IO piny a další. Ve fázi inicializace je také zahrnuta kontrola koncové polohy sondy, pokud není aktivní koncový spínač, je na velmi malý výkon spuštěno navijení, dokud není dosaženo koncové, klidové, polohy. Po této fázi inicializace je již mikroprocesor připraven k činnosti. V nekonečné hlavní smyčce programu je neustále dotazován stav pinu XALERT, který indikuje změnu "Status byte" obvodu BQ77PL900. Pokud je detekována změna, je tento byte vyčten, rozkódován a dle zjištěné situace je na něj patřičně zareagováno, podrobněji viz „Strana“.

Pokud dojde k příjmu znaku na jedné ze sériových linek, je vyvoláno přerušení, ve kterém je tento znak zpracován a z několika po sobě jdoucích znacích je sestaven paket. Na základě dekodování tohoto paketu je zavolána příslušná procedura, tyto procedury jsou popsány dále v této části práce.

## 5.1 Napětí a proud baterie

Měření těchto parametrů je nezbytné pro kompletní informovanost uživatele o stavu napájení. Údaj o aktuálním odebíraném/dodávaném proudu z/do baterie je zde spíše informativní, v případě, že by nastal abnormální nárůst proudu, kdy by hrozilo poničení baterie či celého systému zasáhne obvod pro ochranu baterie (viz „Správa baterie“). S informací o aktuální hodnotě proudu procesor dále nepracuje, nicméně je zde tato možnost do budoucna. Proud je prezentován na pinu obvodu pro správu baterie, kdy v klidu je na tomto výstupu hodnota  $U_{IOUT} = 1,2 V$ , tato hodnota se mění v závislosti na velikosti tekoucího proudu z/do baterie o  $\pm 0,3 V$ . Napětí baterie je prezentováno na pinu  $U_{OUT}$ .

Vzhledem ke komplikovanosti galvanického oddělení analogového signálu, není možné použít AD převodník mikroprocesoru, respektive bylo by to možné po přidání RC filtru za převodník napětí střída, jehož funkce a smysl je popsán v kapitole Galvanické oddělení analogových signál. V této realizaci bylo zvoleno měření střídý signálu na výstupu převodníku napětí střída.



Obrázek 5.2: Střída signálu

Střída se určí jako

$$střída = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}}. \quad (5.1)$$

Jelikož frekvence generovaná obvodem převodníku je konstantní, je nositelem informace pouze čas, kdy je signál aktivní případně neaktivní.

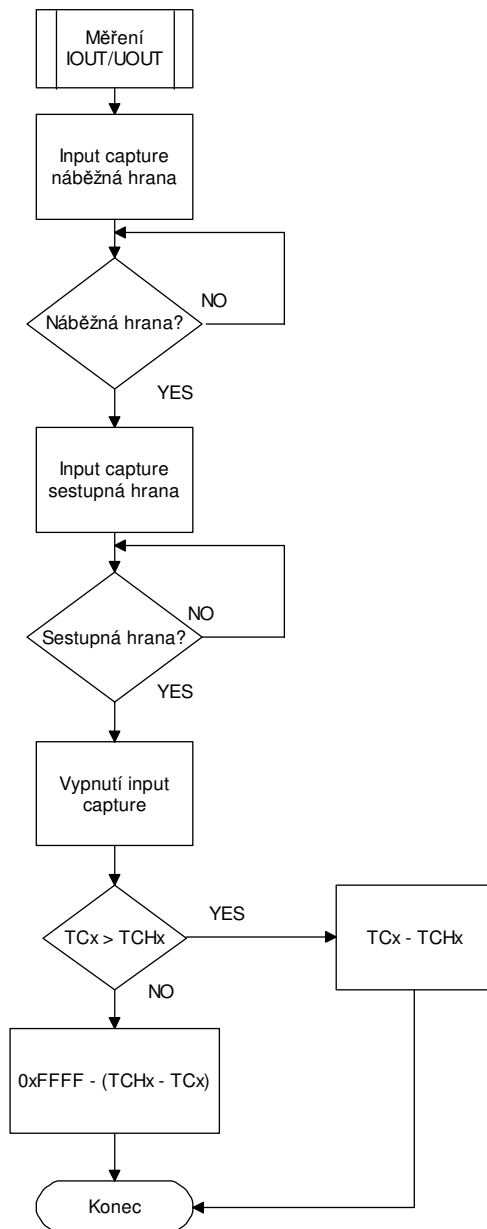
Měření délky tohoto pulzu je prováděno systémem čítače/časovače procesoru HCS12. Základem je 16b čítač odvozený od frekvence interní sběrnice (9), která je taktovaná na frekvenci  $8 MHz$ , tato frekvence může být na vstupu systému časovače upravena děličkou, zde konkrétně osmi, tedy frekvence pro 16b. čítač je  $f_c = 1 MHz$ . Dále celý

system obsahuje 8 jednotek Input Capture/Output Compare a jím příslušejících 8 IO pinů procesoru. V tomto případě je využíváno funkce Input Capture, tato funkce zajistí zápis aktuální hodnoty čítače do registru  $TCx$  při detekci hrany na příslušném pinu  $x$  (náběžná, sestupná, náběžná/sestupná). Po příchodu další události (hrany) je předešlá

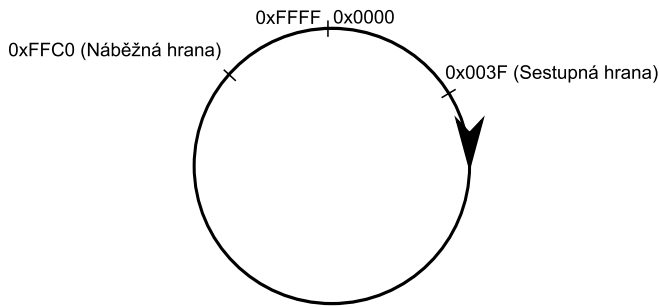
hodnota přesunuta do pomocného registru  $TCHx$  a aktuální hodnota čítače je zapsána opět do registru  $TCx$ . System tedy čeká na dvě události, po první náběžné hraně zapne detekci sestupné hrany, rozdíl v hodnotách registrů  $TCx$  a  $TCHx$  odpovídá počtu tiků  $f_c$ , při známé frekvenci 16b čítače potom není problém určit dobu trvání pulzu. Z tohoto času lze potom z převodní charakteristiky převodníku napětí střída určit příslušná hodnota napětí na vstupu tohoto převodníku. Je nutné kontrolovat, zdali hodnota čítače při druhé události (sestupné hrany) je vyšší, než u náběžné. Pokud vyšší není, znamená to, že čítač mezi první a druhou událostí přetekl a není možné délku pulzu určit z rozdílu hodnoty čítače při detekci sestupné a náběžné hrany. Při vstupní frekvenci  $f_c = 1\text{ MHz}$  je 16b čítač periodicky naplňován v čase

$$t_c = \frac{1}{f_c} \cdot 16b \cong 66\text{ ms}.$$

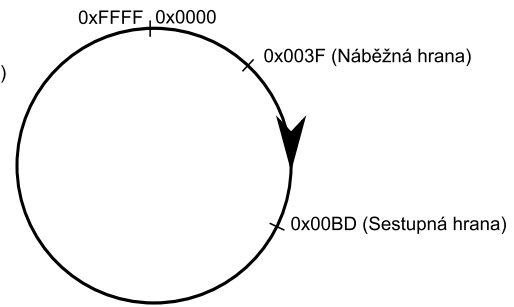
Při periodě vstupního signálu 1 ms tak může čítač mezi detekcemi přetécť maximálně jednou.



Obrázek 5.3 Měření IOUT/UOUT



Obrázek 5.4 Přeteklý čítač



Obrázek 5.5 Nepřeteklý čítač

V případě, že čítač mezi oběma událostmi nepřetekl, je délka pulzu měřené veličiny dána  $t_p = \frac{1}{f_c}(TCHx - TCx)$ , v opačném případě je délka dána  $t_p = \frac{1}{f_c}(0xFFFF - TCx - TCHx)$ . Dle převodní konstanty převodníku napětí  $\rightarrow$  střída je možné určit hodnotu modulačního napětí tohoto převodníku, tedy výstup obvodu pro správu baterie (IOUT, UOUT). Vzhledem k linearitě prostřední části, kde je obvod využívám, se jedná o směrnici přímky.

$$U_{MOD} = \frac{\% + 10,606}{0,122} [mV] \quad (5.2)$$

Nyní již jen stačí přepočítat toto modulační napětí na hodnotu napětí na baterii či proudu. Napětí na baterii je určeno vztahem (14)

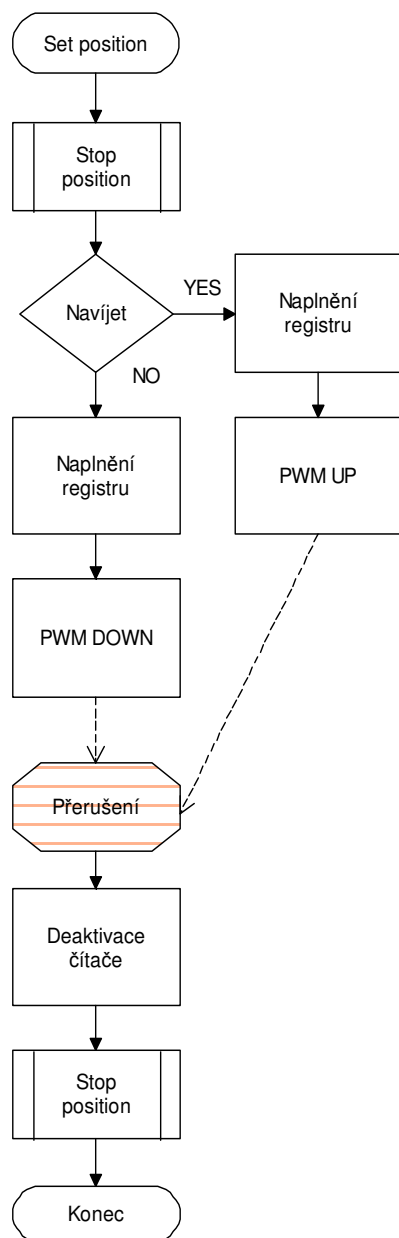
$$U_{bat} = \frac{U_{MOD_{UOUT}} \cdot 50}{1000} [V] \quad (5.3)$$

$$I_{bat} = \frac{\frac{U_{MOD_{UOUT}}}{1000} - 1,2}{R_{sense} \cdot IGAIN} = \frac{\frac{U_{MOD_{UOUT}}}{1000} - 1,2}{0,01} [A]. \quad (5.4)$$

## 5.2 Odečet délky odvinutého lana

Jak již bylo zmíněno v kapitole „Měření délky odvinutého lana“, je pro měření délky odvinutého lana využíván počet průchodů zubů ozubeného kola bubínku navijáku. Tento systém představuje inkrementální snímač polohy. Při tomto způsobu určování polohy je nutné mít v paměti aktuální polohu a od té odečítat nebo přičítat inkrement polohy, to také vyžaduje, aby byla při spuštění celého systému synchronizována aktuální poloha se softwarovou polohou. Synchronizace je realizována při spuštění

celého systému za pomoci koncového HW senzoru. Pokud při zapnutí systému není sonda ve své klidové poloze (koncový spínač není aktivní) je spuštěno pomalé navíjení, dokud nulová poloha není potvrzena od koncového spínače. Klidová poloha sondy je brána jako referenční poloha 0.



Obrázek 5.6 Čítání hran

Vývojový diagram znázorňuje průběh funkce „Set Position“, která zajistí nastavení požadované polohy. Nejdříve se zavolá funkce „Stop Position“, jež je popsána dále. Dále se provede přepočítání požadované pozice na počet zubů, tato hodnota se porovná s aktuální polohou a z této podmínky se určí smysl otáčení motoru, tedy jestli se bude navíjet či odvíjet. Registr se naplní tak, aby došlo k jeho naplnění (přetečení) právě v okamžik, kdy optickou bránou projde počet zubů odpovídající rozdílu vzdálenosti mezi požadovanou a aktuální hodnotou. Před samotným spuštěním otáčení motoru v příslušném směru se povolí systém čítání průchodu zubů a povolí se příslušné přerušení, které je vyvoláno přetečením čítače. Ve vyvolaném přerušení je vymazán příznak tohoto přerušení na důkaz jeho obslužení, čítač je deaktivován, aby nedocházelo k případné falešné detekci průchodu zubů, pokud není naviják v pohybu. V přerušení je také aktualizována aktuální hodnota polohy sondy a vynulován registr čítače. Nulová hodnota čítače indikuje nepředsčasné ukončení odvíjení/navíjení.

Funkce „Stop Position“ provede zastavení PWM a tím otáčení navijáku a deaktivaci čítače, opět aby nedocházelo k falešným detekcím průchodu zubů. Tato situace by mohla nastat například při zastavení navijáku tak, že by zub byl přesně na pomezí detekce a vlivem mechanického kmitání by způsoboval tyto falešné detekce. Poté se provede ověření podmínky, zdali tato funkce byla vyvolána předsčasně, pokud ne,



funkce končí. Pokud byla zavolána předčasně, dojde k aktualizaci aktuální polohy, ta je určena z počtu zubů, jež prošly optickou bránou od spuštění navíjení/odvíjení do okamžiku zavolání této funkce. Systém drží v paměti smysl otáčení z předchozího cyklu, podle nějž je tato hodnota k té aktuální přičtena nebo odečtena. Poloha držená v paměti je dána počtem průchozích zubů.

Procesor HCS12 disponuje 4 x 8b čítači, které jsou spřaženy s IO piny. Pokud je na příslušném IO registrována událost sestupné nebo náběžné nebo sestupné/náběžné hrany, je příslušející registr inkrementován, v této aplikaci je registrována pouze náběžná hrana. Zohledníme-li střední průměr bubínku  $r_{stř} = 70 \text{ mm}$  a 44 zubů na jedno otočení bubínku, zjistíme, že při navrhované délce 50 m nebude 8 bitový čítač dostačující.

$$\zeta = \frac{l_{max}}{r_{stř} \cdot \pi} \cdot 44 \cong 9\,130 \text{ zubů} \quad (5.5)$$

V procesoru HCS12 je možné využívat vždy dvojici 8 b čítačů v tandemu a vytvořit tak dva 16 b čítače. 16 b čítač svou kapacitou daleko převyšuje hodnotu  $\zeta$ . Teoreticky lze využít lano až do délky

$$\zeta = \frac{1}{r_{stř} \cdot \pi} \cdot 40 \quad (5.6)$$

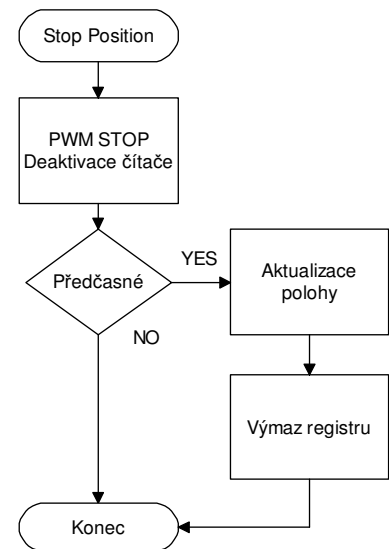
$$l_{maximum} = \frac{16b}{\zeta} \cong 360 \text{ m}, \quad (5.7)$$

kde  $\zeta$  je počet zubů na jeden metr.

Pro výpočet délky odvinutého lana z registrovaného počtu otočení bubínku je použit střední průměr bubínku navijáku.

### 5.3 Generování signálu pro servomotor

Naviják je vybavený mechanickou brzdou, která je v běžném stavu zabrzděná tažnou pružinou a znemožňuje tak jakékoli nevyžádané samoodvíjení. Pouze v případě



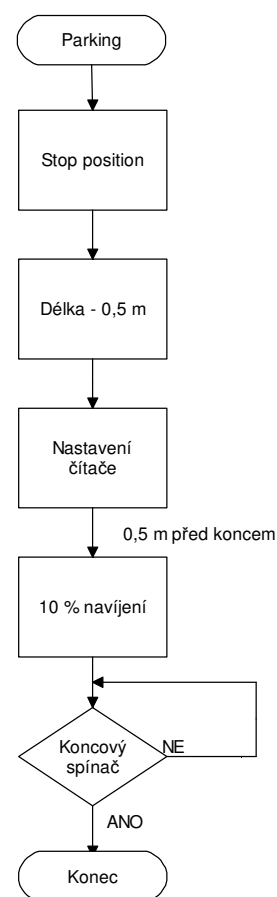
Obrázek 5.7 Zastavení odvíjení

vyžádaného odvíjení nebo navíjení začne procesor generovat příslušný signál, který vychýlí servomotor do krajní polohy. V této krajní poloze je pružina přetlačena a tím mechanická brzda uvolněna.

Pro generování tohoto signálu je opět využita část systému čítače/časovače řídicího procesoru. Konkrétně se jedná o „Modulus down counter“, který dekrementuje hodnotu příslušného 16b registru v rytmu taktu interní sběrnice podělené hodnotou děličky. Pokud příslušný registr dosáhne nulové hodnoty, je vyvoláno přerušení, ve kterém je realizován stavový automat zajišťující periodické přepínání logické úrovně řídicího pinu servomotoru. Aktivní doba je dána požadovaným úhlem natočení servomotoru, neaktivní doba je zbytek do periody 20 ms odpovídající 50 Hz.

## 5.4 Uložení sondy do klidové polohy

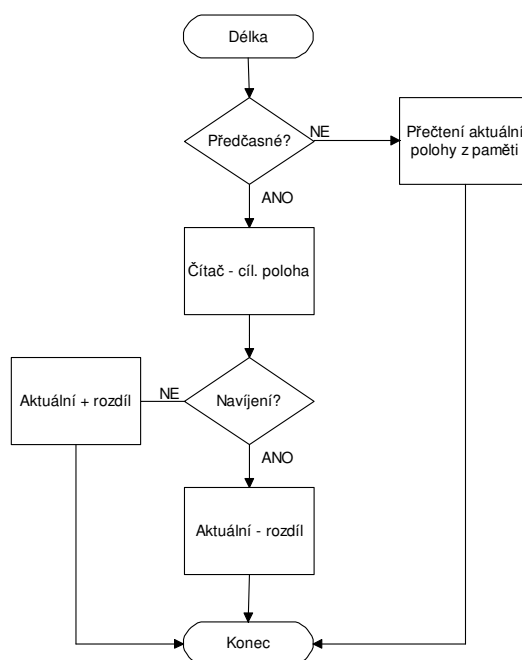
Nejdříve je zavolána funkce pro zastavení odvíjení/navíjení, neboť by uživatel mohl tuto funkci zavolat při pohybu sondy. Tímto je zafixována poloha sondy a je možné určit její vzdálenost od letounu, od této vzdálenosti je odečteno půl metru a čítač je nastaven tak, aby vyvolal přerušení právě ve vzdálenosti 0,5 m od letounu. Na těchto posledních půl metru již není spoléháno na určení polohy počítáním počtu průchodu zubů, ale navíjení je spuštěno na malý výkon (cca. 10 %) a je sledován stav koncového spínače.



Obrázek 5.8 Uložení sondy do klidové polohy

## 5.5 Zjištění aktuální polohy

Zjištění aktuální polohy sondy je využíváno jak v případech dotazu uživatele, tak i v případech, kdy dojde k náhlému zastavení a nelze tak spoléhat na nastavenou vzdálenost. Systém si udržuje v paměti směr pohybu sondy, tedy jestli se jedná o odvíjení či navíjení, poslední známou polohu a cílovou polohu nového pohybu. Pokud tedy dojde k předčasnému zastavení, je z rozdílu mezi čítačem čítajícím počet průchodů zubů a cílovou polohou nového pohybu vypočítána uražená dráha sondy od začátku pohybu. Poté z uložené informace o smyslu pohybu je tento rozdíl přičten nebo odečten k poslední známé poloze.



Obrázek 5.9 Zjištění aktuální polohy

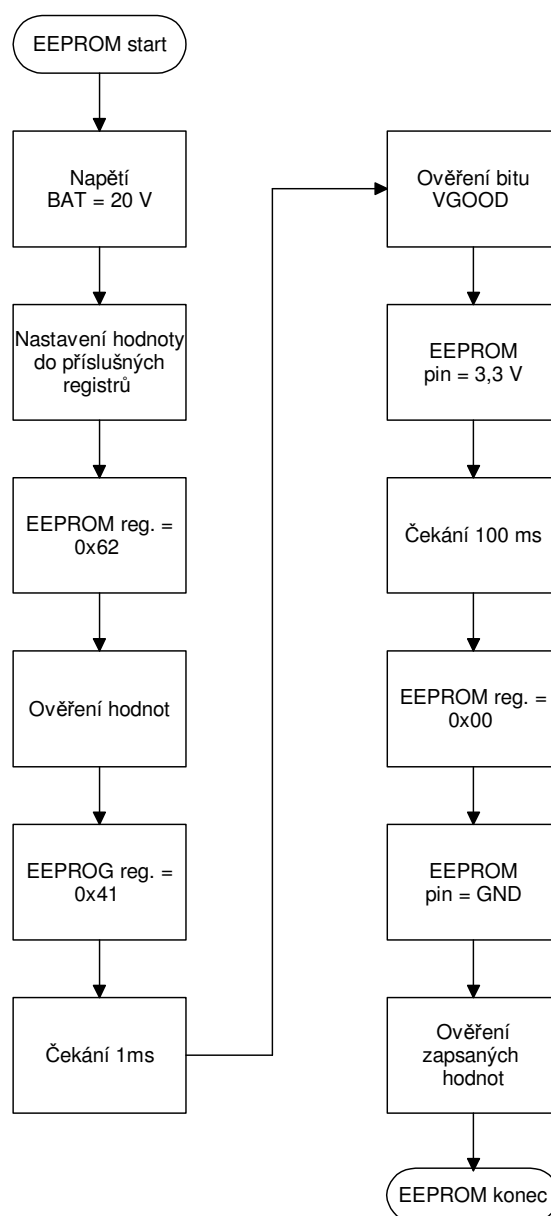
## 5.6 Programování EEPROM obvodu BQ77PL900

Jak již bylo řečeno v kapitole „Správa baterie“, obvod pro správu baterie obsahuje typ paměti EEPROM pro uložení rozhodovacích prahů a časových zpoždění mezi detekcí nežádoucí situace (UV, OV...) a aktivním zásahem. Struktura této paměti, včetně adres příslušných registrů je znázorněna v tabulce 5.1. Podrobnější popisy jednotlivých registrů včetně jednotlivých konfigurací lze nalézt v (14).

Tabulka 5.1 Konfigurace EEPROM

Název	Adresa	Popis
<b>OV CFG</b>	0x06	Práh přebití a zpoždění
<b>UV LEVEL</b>	0x07	Práh vybití
<b>OCV &amp; UV DELAY</b>	0x08	Práh nadproudu a zpoždění pro vybití
<b>OCDELAY</b>	0x09	Zpoždění pro nadproud
<b>SCD CFG</b>	0x0A	Práh pro zkratový proud a zpoždění

Výrobce uvádí, že není vhodné zapisovat do paměti EEPROM vícekrát, doporučuje maximálně čtyři cykly zápisu. Proto je tato funkce pouze jednoúčelová pro prvotní nastavení obvodu před uvedením do provozu a uživatel tak nemá žádný přístup k této funkci. Pro programování je doporučeno napájecí napětí  $U_{BAT} = 20V$ . Programovací cyklus začíná zasláním adresy registru, který je určen k přepsání, poté je zaslána hodnota pro zápis do tohoto registru, takto jsou zaslány postupně všechny adresy registrů a jím příslušející požadované hodnoty pro zápis. Následuje zápis hodnoty 0x62 do registru EEPROM, pozor tento registr se nachází v paměti RAM. Poté by se měly ověřit hodnoty v jednotlivých registrech, tento krok je tu zejména proto, aby nedošlo k zápisu nežádoucích hodnot vzhledem k velmi nízkému počtu doporučených cyklů zápisu. Následuje zápis hodnoty 0x41 do registru EEPROM. Po 1 ms pauze je vhodné



Obrázek 5.10 Programování EEPROM

ověřit bit *VGOOD* ve stavovém registru, který indikuje dostatečně velké napájecí napětí pro zápis do paměti EEPROM a přiložit na pin EEPROM napětí  $U_{EEPROM} = 3,3 V$ . Po pauze 100 ms zapsat do registru EEPROM hodnotu 0x00, uzemnit pin EEPROM. Tímto krokem je programování paměti typu EEPROM obvodu BQ77PL900 dokončeno. Výše naznačený popis je přehledně uveden na obrázku 5.10.

Pro aplikaci ovládací elektroniky navijáku pro závěsnou sondu byly jako nejvhodnější shledány parametry uvedené v tabulce 5.2. Tyto parametry se jeví jako nejlepší kompromis mezi spolehlivostí celého systému a největší výtěžností baterie s přihlédnutím na její maximální životnost.

Tabulka 5.2 Konfigurace EEPROM

Registr	Hodnota	Efekt
<b>OV CFG</b>	0x10	$U_{OV} = 4,15 V, U_{OVH} = 0,3, t_{OV} = 0,5 s$
<b>UV LEVEL</b>	0x5F	$U_{UV} = 2,9 V, U_{UVH} = 0,4 V, DSG = 1$
<b>OC &amp; UV DELAY</b>	0x24	$U_{OC} = 30 mV, t_{UV} = 3 s$
<b>OCD CFG</b>	0x19	$t_{OCD} = 1 s$
<b>SCD CFG</b>	0x00	$U_{SCD} = 60 mV, t_{SCD} = 60 \mu s$

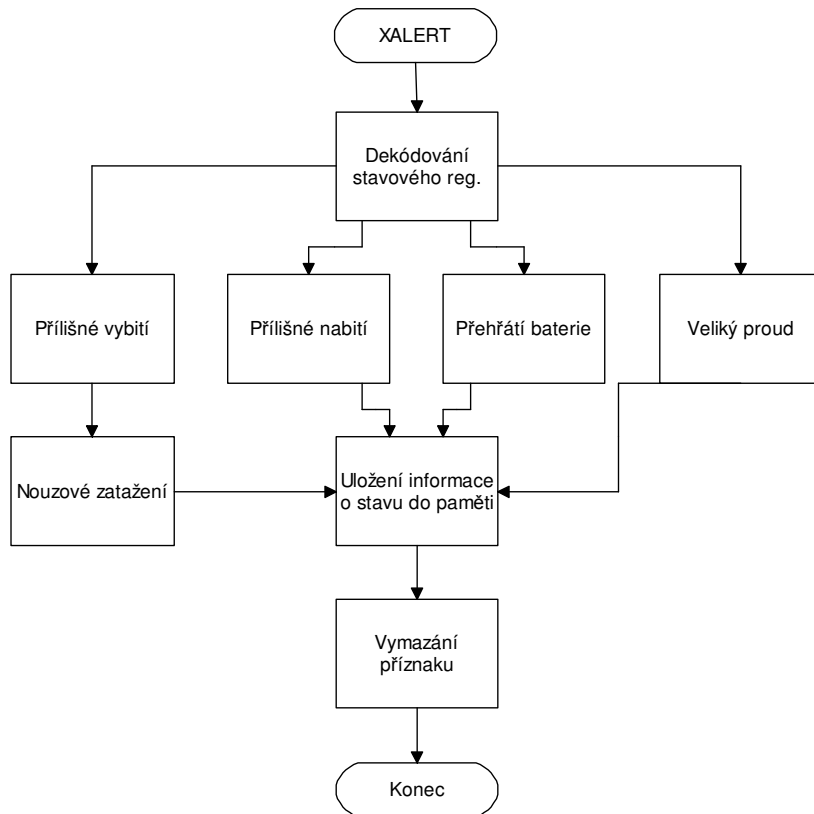
Bit DSG v registru *UV LEVEL* má význam neodpojování zátěže při detekci stavu vybití, pouze dojde ke změně stavového registru a k informování nadřazeného procesoru změnou výstupu XALERT (14). Tento typ chování je velice výhodný, neboť je stále přijatelnější ztráta v podobě zničené baterie, nežli nouzové odhození navijáku a přímé ohrožení posádky letounu. Navíc rozhodovací práh pro detekci vybití je nastaven poměrně vysoko, takže by ke zničení baterie ani nemělo dojít, maximálně může dojít ke zkrácení životnosti.

## 5.7 Zpracování signálu XALERT

Jak již bylo řečeno v úvodu této kapitoly, pin XALERT indikuje změnu ve stavovém registru obvodu pro ochranu baterií. Je-li změna indikována, dojde prostřednictvím sběrnice IIC k vyčtení *Status byte* a k jeho rozkódování a k příslušné reakci.

Vždy po rozkódování stavového registru je do paměti mikroprocesoru uložena informace o tomto stavu. Poté dojde k provedení resetovacího mechanismu varování

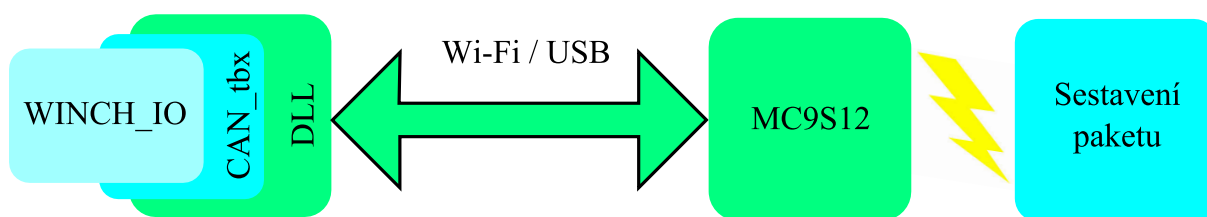
XALERT který je založen na zápisu log. 1 do bitu *LTCLR* v registru *Output Control* následován zápisem log. 0 do téhož bitu. Poté je přečtením *Status byte* resetován signál XALERT. Princip uvědomění uživatele o změně stavového registru je založen na změně ID odchozí zprávy (viz „Strana“).



Obrázek 5.11 Zpracování XALERT

## 6 Ovládací protokol

Pro ovládání celého navrženého systému je k dispozici toolbox do prostředí MATLAB. Tato koncepce byla zvolena s ohledem na stávající řešení ovládání kalibrační sondy. Ovládání kalibrační sondy je realizováno také prostřednictvím Matlabu, takže je velice výhodné, aby i ovládání navijáku bylo realizováno touto formou. Druhá nesporná výhoda tohoto řešení je možnost postprocesingu či archivace naměřených dat a obecně využití jakýchkoli dalších funkcí, které Matlab poskytuje.



Obrázek 6.1 Koncepce komunikace

### 6.1 Strana PC

Základem komunikace na straně PC je knihovna DLL, která není vyvíjena v rámci této práce, v této práci je pouze využívána. Tato knihovna disponuje základní správou komunikačních cest až pro 256 zařízení. Zde je využita funkce otevření bezdrátového portu a komunikace s využitím TCP protokolu a funkce otevření sériového portu a komunikace po takto otevřeném portu potažmo sériové lince.

Nad touto knihovnou je knihovna CAN\_tbx zodpovědná za správné sestavování paketů a posléze za jejich bezchybný příjem. Tato knihovna byla opět vyvinuta v rámci jiné práce. Trochu zavádějící název této knihovny je dán historickými důvody, kdy tato knihovna byla vyvíjena pro potřeby komunikace po rozhraní CAN, nicméně lze ji využít i pro komunikaci prostřednictvím jiných. Takto sestavený paket je znázorněn na 6.2.

<i>Start</i>	<i>Délka</i>	<i>ID</i>	<i>Délka dat</i>	<i>Data</i>	<i>Stop</i>
2 B	2 B	4 B	1 B	0 – 8 B	4 B

Obrázek 6.2 Struktura paketu

Poté, co je takto sestavený paket připraven k odeslání, je zavolána funkce knihovny DLL, která se postará o jeho přenos prostřednictvím příslušné technologie, konkrétně Wi-Fi nebo USB (sériová linka).

Nad knihovnou CAN\_tbx je v rámci této práce vytvořený toolbox pro ovládání navijáku. Systém je založen na *ID* jednotlivých zpráv, kdy každá funkce v rámci tohoto toolboxu má svůj jedinečný identifikátor, dle kterého řídicí procesor dokáže rozpoznat požadavek a příslušně na něj zareagovat.

## 6.2 Strana ovládací elektroniky navijáku

Na straně mikroprocesoru není nutné implementovat tolik úrovní zpracování. Princip je založen na postupném zpracování přerušení, které vyvolává sériová linka při přijatém znaku. Je dobré poznamenat, že sériové linky jsou zde využívány dvě, jedna je připojena k obvodu *FTDI* – převodník *USB* → *RS232*, druhá je připojena k modulu *WiFly* – převodník *Wi-Fi* → *RS232*. Při každém nově přijatém paketu znaků je vyhledávána startovací sekvence, ihned po tomto signálu následuje informace o délce zbývajících znaků, díky této informaci je poté možné vytvořit pole o dané velikosti, kam jsou ukládána příchozí data. Po příjmu posledního předpokládaného znaku je vyhledávána ukončovací sekvence, pokud je tato ukončovací sekvence přijatá, jsou data považována za konzistentní a přenos je ukončen. Pokud však ukončovací sekvence detekována není, je paket považován za chybný, je ignorován a přenos je nutné opakovat. Po úspěšně přijatém paketu je zavolána obslužná rutina, kde je porovnáváno přijaté *ID* a dle tohoto *ID* je rozpoznána požadovaná informace.

Při odesílání odpovědního paketu zpátky, je k poli *ID* přičtena jednotka, aby bylo evidentní, že jde o odpověď na daný požadavek. Paket je shodný jako příchozí, po *ID* následuje délka dat, samotná data a ukončovací sekvence. Nevýhoda použití koncepce komunikace prostřednictvím Matlabu je nemožnost reakce na asynchronní událost, kterou může vyvolat například změna status registru obvodu pro ochranu baterie. Proto mikroprocesor před každou odpovědí zkontroluje, zda-li nenastala změna ve status registru, pokud ano, bude *ID* odpovědi inkrementováno o hodnotu dva.



## 6.3 Popis funkcí

V tabulce 6.1 je přehledně uveden seznam všech funkcí, které je možné volat a získávat tak informace z mikroprocesoru, případně obvodu pro správu baterie. Při každé odpovědi je zkontrolováno *ID* příchozí zprávy, pokud je tato hodnota inkrementována o jedničku, jedná o regulérní odpověď na předchozí dotaz. V případě, že je *ID* inkrementováno o dvě, jedná se o regulérní odpověď na předchozí dotaz, nicméně uživatel je informován varovným hlášením, že došlo ke změně stavového registru obvodu pro správu baterie a bylo by na místě zjistit funkcí *Winch\_GetStatus* o jaký se přesně jedná problém.

Tabulka 6.1 Seznam funkcí

<i>Funkce</i>	<i>ID</i>
<b><i>Winch_GetFW</i></b>	0x100
<b><i>Winch_SetPosition</i></b>	0x110
<b><i>Winch_StopPosition</i></b>	0x120
<b><i>Winch_GetAngle</i></b>	0x130
<b><i>Winch_GetLength</i></b>	0x140
<b><i>Winch_GetBatVoltage</i></b>	0x150
<b><i>Winch_GetBatCurrent</i></b>	0x160
<b><i>Winch_GetStatus</i></b>	0x170
<b><i>Winch_GetStatu</i></b>	0x180
<b><i>Winch_SetParkPos</i></b>	0x190

### 6.3.1 Winch\_OpenUSB, Winch\_OpenTCP

Tyto funkce neslouží ke komunikaci s procesorem, nýbrž působí jako funkce podpůrné, které otvírají příslušné komunikační kanály.

$$iRetVal = Winch\_OpenUSB(iAdapter, iDeviceNumber)$$

Návratová hodnota *iRetVal* je rovna jedné, pokud je požadavek korektně zpracován, pokud požadavku porozuměno není je *iRetVal* = 0.

Parametr *iAdapter* je jakýsi zástupce konkrétního zařízení a konkrétního typu připojení. Zde je třeba uvést na pravou míru termín otevření USB portu. Připojení USB

je realizováno specializovaným obvodem, který vytvoří virtuální sériovou linku, tato funkce tedy v podstatě otevírá tuto virtuální linku, nicméně fyzické rozhraní je právě sběrnice USB.

Parametr *iDeviceNumber* je číslo sériového portu příslušejícího onomu virtuálnímu, na kterém probíhá komunikace. Toto číslo lze například zjistit ve správci zařízení Windows (COMx).

Příklad:

$$iRetVal = Winch\_OpenUSB(0,3)$$

Zavoláním této funkce je otevřen sériový port *COM3* s modulační rychlostí  $b = 9600 \text{ bd/s}$  a je pro něj vytvořen odkaz *iAdapter = 0*.

$$iRetVal = Winch\_OpenTCP(iAdapter, iDeviceNumber)$$

Návratová hodnota *iRetVal* je rovna jedné, pokud je požadavek korektně zpracován, pokud požadavku porozuměno není je *iRetVal = 0*.

Parametr *iAdapter* je jakýsi zástupce konkrétního zařízení a konkrétního typu připojení.

Parametr *iDeviceNumber* je číslo bezdrátového modulu používané v rámci sondy a navijáku. Z tohoto čísla je složena IP adresa zařízení, která je pevně přiřazena každému modulu. IP adresa je složena následovně

$$192.168.2.128 + iDeviceNumber$$

Příklad:

$$iRetVal = Winch\_OpenTCP(1,13)$$

Zavoláním této funkce je navázána TCP komunikace s modulem s IP adresou 192.168.2.141. Vysílací port je 2000, přijímací port je 2000.

Pokud jsou tedy zavolány postupně výše uvedené funkce, je k dispozici komunikace prostřednictvím USB rozhraní, například s navijákem, a komunikace prostřednictvím Wi-Fi rozhraní, například s aerodynamickou sondou.

### 6.3.2 Winch\_GetFW

Tato funkce poskytuje informaci o aktuální verzi firmwaru.

$$[iRetVal fVer] = SSP\_GetFW\_Version(iAdapter)$$

Návratová hodnota  $iRetVal$  je rovna jedné, pokud je požadavek korektně zpracován a je na něj odpovězeno, pokud požadavku porozuměno není je  $iRetVal = 0$ .

Návratová hodnota  $fVer$  vrací aktuální verzi firmwaru ve tvaru  $a.bcde$ .

Parametr  $iAdapter$  odpovídá odkazu na zařízení.

Příklad:

$$[iRetVal fVer] = SSP\_GetFW\_Version(0)$$

$$iRetVal = 1, fVer = 1.1000$$

### 6.3.3 Winch\_SetPosition

Tato funkce provádí nastavení požadované vzdálenosti sondy od letounu. Vzdálenost se zadává v metrech. Funkce obsahuje ochranné mechanismy, které nedovolí zadat uživateli zápornou hodnotu vzdálenosti a nedovolí zadat vzdálenost delší než  $l = 50 m$ . Hlídní maximální možné zadané vzdálenosti je záměrně hlídáno již v tomto skriptu, aby bylo možné v budoucnu případně použít delší lano a změna podmínky tak velmi jednoduchá. Tato funkce bere v potaz vzdálenost odvinutého lana, nikoli reálné vzdálenosti sondy od letounu, kterou ovlivňuje odpor proudícího vzduchu.

$$[iPosition] = Winch\_SetPosition(iAdapter, Position)$$

Návratová hodnota  $iPosition$  vrací hodnotu vzdálenosti v metrech, kterou přijal procesor a zpracoval ji.

Parametr  $iAdapter$  odpovídá odkazu na zařízení.

Parametr  $Position$  předává procesoru požadovanou vzdálenost sondy od letounu.

Příklad:

$$[iPosition] = Winch\_SetPosition(0,10)$$

$$iPosition = 10$$

### 6.3.4 Winch\_StopPosition

Tato funkce umožňuje okamžité zastavení pohybu sondy v aktuální poloze.

$$[ iRetVal ] = Winch\_StopPosition( iAdapter )$$

Návratová hodnota *iRetVal* je rovna jedné, pokud je požadavek korektně zpracován, pokud požadavku porozuměno není je *iRetVal* = 0.

Parametr *iAdapter* odpovídá odkazu na zařízení.

### 6.3.5 Winch\_GetAngle

Tato funkce poskytuje informaci o aktuálním úhlu svíraném mezi lanem a horizontální rovinou.

$$[ iRetVal Angle ] = Winch\_GetAngle( iAdapter )$$

Návratová hodnota *iRetVal* je rovna jedné, pokud je požadavek korektně zpracován a je na něj odpovězeno, pokud požadavku porozuměno není je *iRetVal* = 0.

Návratová hodnota *Angle* je vyjádřením měřeného úhlu v celých stupních.

Parametr *iAdapter* odpovídá odkazu na zařízení.

Příklad:

$$[ iRetVal Angle ] = Winch\_GetAngle( 0 )$$
$$iRetVal = 1, Angle = 45$$

### 6.3.6 Winch\_GetLength

Tato funkce poskytuje informaci o aktuální délce odvinutého lana a to i v případě, že navíjení či odvíjení nebylo dokončeno. Dále informuje o skutečné vzdálenosti sondy od letadla, daném goniometrickým výpočtem z hodnoty odvinutého lana a hodnotou úhlu.

$$[ iRetVal Length Distance ] = Winch\_GetLength( iAdapter )$$

Návratová hodnota *iRetVal* je rovna jedné, pokud je požadavek korektně zpracován, pokud požadavku porozuměno není je *iRetVal* = 0.

Návratová hodnota *Length* je aktuální odvinutá délka lana v metrech.

Návratová hodnota *Distance* je právě reálná vzdálenost dána vztahem

$$Distance = \sin(Angle) \cdot Length$$

Parametr *iAdapter* odpovídá odkazu na zařízení.

Příklad:

$$[ iRetVal Length Distance ] = Winch_GetLength( 0 )$$

$$iRetVal = 1, Length = 10, Distance = 5$$

### 6.3.7 Winch\_GetBatVoltage

Tato funkce informuje uživatele o aktuální hodnotě napětí na svorkách baterie.

$$[ iRetVal BatVoltage ] = Winch_GetBatVoltage( iAdapter )$$

Návratová hodnota *iRetVal* je rovna jedné, pokud je požadavek korektně zpracován a je na něj odpovězeno, pokud požadavku porozuměno není je *iRetVal* = 0.

Návratová hodnota *BatVoltage* odpovídá hodnotě napětí na baterii v desetinné přesnosti.

Parametr *iAdapter* odpovídá odkazu na zařízení.

Příklad:

$$[ iRetVal BatVoltage ] = Winch_GetBatVoltage( 0 )$$

$$iRetVal = 1, BatVoltage = 22,3$$

### 6.3.8 Winch\_GetBatCurrent

Obdobná funkce jako *Winch\_GetBatVoltage* s rozdílem, že tato funkce informuje o aktuální hodnotě proudu. Pokud je proud záporný, znamená to, že proud teče z baterie do zařízení, pokud je hodnota kladná, proud teče z nabíječky do baterie.

$$[ iRetVal BatCurrent ] = Winch_GetBatCurrent( iAdapter )$$

Návratová hodnota *iRetVal* je rovna jedné, pokud je požadavek korektně zpracován a je na něj odpovězeno, pokud požadavku porozuměno není je *iRetVal* = 0.

Návratová hodnota *BatCurrent* odpovídá hodnotě proudu v ampérech tekoucí z/do baterie v desetinné přesnosti.

Parametr *iAdapter* odpovídá odkazu na zařízení.

Příklad:

$$[ iRetVal BatCurrent ] = Winch\_GetBatCurrent( 0 )$$

$$iRetVal = 1, BatCurrent = -1,2$$

### 6.3.9 Winch\_GetStatus

Tato funkce prezentuje aktuální stav obvodu pro správu baterie, reflektuje jeho *Status byte*.

$$[ iRetVal OVT UV OV OCD SCD ] = Winch\_GetStatus( iAdapter )$$

Návratová hodnota *iRetVal* je rovna jedné, pokud je požadavek korektně zpracován a je na něj odpovězeno, pokud požadavku porozuměno není je *iRetVal* = 0.

Návratová hodnota *OVT* odpovídá stavu přehřívání baterie.

Návratová hodnota *UV* odpovídá stavu přílišného vybití baterie.

Návratová hodnota *OV* odpovídá stavu přílišného nabití baterie.

Návratová hodnota *OCD* odpovídá stavu přílišného proudového zatížení baterie.

Návratová hodnota *SCD* odpovídá stavu zkratu výstupních svorek baterie.

Parametr *iAdapter* odpovídá odkazu na zařízení.

Příklad:

$$[ iRetVal OVT UV OV OCD SCD ] = Winch\_GetStatus( 0 )$$

$$iRetVal = 1, OVT = 1, UV = 1, OV = 0, OCD = 0, SCD = 0$$

Návratová hodnota 1 odpovídá logické jedničce.

### 6.3.10 Winch\_SetParkPos

Tato funkce zajistí uložení sondy do klidové polohy.

$$[iRetVal] = Winch\_SetParkPos( iAdppter )$$

Návratová hodnota *iRetVal* je rovna jedné, pokud je požadavek korektně zpracován a je na něj odpovězeno, pokud požadavku porozuměno není je *iRetVal* = 0.

Parametr *iAdapter* odpovídá odkazu na zařízení.

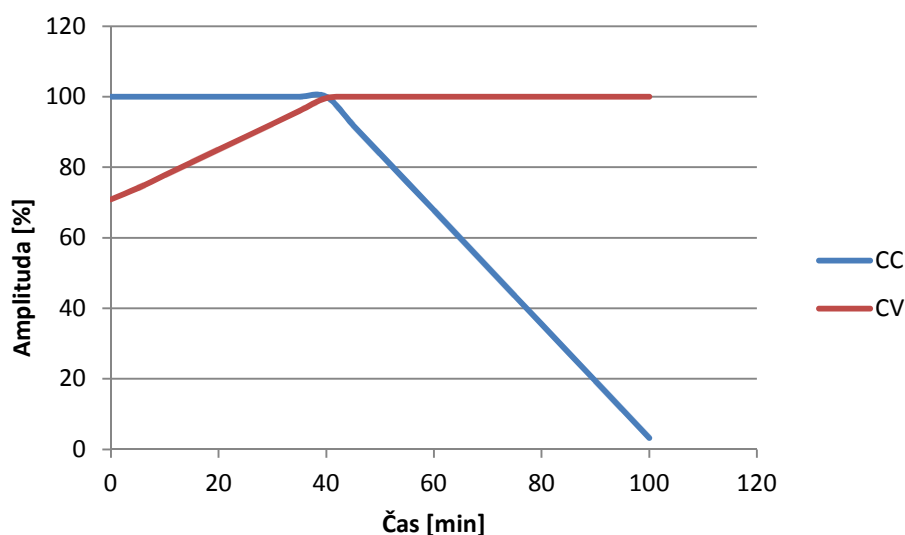
Příklad:

$$[iRetVal] = Winch\_SetParkPos( 0 )$$
$$iRetVal = 1$$

## 7 Nabíječka

Při vývoji tohoto zařízení bylo také myšleno na nabíjení vybité baterie. Uživatel má na výběr dvě možnosti. První, že vybitou baterii odpojí od systému a tu potom vloží do jakékoli komerční nabíječky, kde bude řádně nabita. Druhá, že využije vyvinutou nabíječku, kterou připojí přímo k řídicímu obvodu. Obvod BQ77PL900 však neumí řídit nabíjecí proud tekoucí do baterie. Hlídá pouze stav nabití baterie, který pozná dle napětí na svorkách baterie a při překročení nastaveného prahu vypne nabíjecí tranzistor a umožní pouze vybíjení. Dále umí obvod řídit balancování mezi jednotlivými články baterie, tedy přemostění části nabíjecího proudu přes konkrétní článek (14). Tato funkcionality obvodu je volitelná, v této práci není balancování povoleno, neboť se při testování tato metoda neosvědčila jako efektivní. Algoritmus a podrobnější informace o balancování lze nalézt v (17).

Z výše uvedeného vyplývá, že je nutné zkonstruovat nabíječku, která bude nabíjecí proud řídit automaticky sama. Zaměříme-li se na nabíjecí cyklus baterie s technologií Li-Pol, zjistíme, že se dá v zásadě rozdělit na dvě hlavní části *ConstantCurrent* (CC), tedy část, kdy je nabíjení řízeno konstantním proudem a částí *ConstantVoltage* (CV), tedy část, kdy je nabíjení řízeno konstantním napětím (18).



Obrázek 7.1 Cyklus nabíjení

Pro maximální životnost baterie byl zvolen nabíjecí proud jako hodnota  $1C$ , při kapacitě  $6\ 100\ mAh$  je hodnota proudu v první fázi  $CC = 6,1\ A$ . Napětí ve fázi konstantního

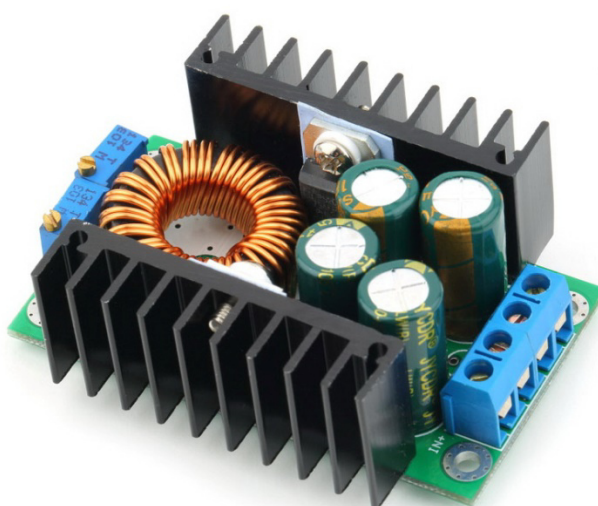


napětí je určeno z maximálního napětí jednoho článku baterie  $U_{cell} = 4,15$ , tedy při šesti člancích je  $CV = 24,6$ .

Pro tuto činnost byl zvolen nabíjecí modul založený na obvodu XIsemi XL4016EI, který umožňuje nastavit nabíjecí proud i nabíjecí napětí pomocí dvou odporových trimrů. Parametry nabíjecího modulu jsou uvedeny v tabulce 7.1. Nicméně vybraný modul je typu Step – Down, bude tedy pracovat správně jen za předpokladu, že napájecí vstupní napětí bude vyšší, nežli výstupní. Je nutné také brát v potaz spotřebu vlastního modulu, úbytek napětí na modulu se pohybuje v okolí  $2\text{ V}$ , při  $CV = 24,6\text{ V}$  je tedy zapotřebí vstupního napájecího napětí modulu  $U_{IN} \geq 26,6\text{ V}$ .

Tabulka 7.1 CC/CV modul (18)

<i>Parametr</i>	<i>Hodnota</i>
<b><i>Napájecí napětí DC min.</i></b>	7 V
<b><i>Napájecí napětí DC max.</i></b>	32 V
<b><i>Výstupní napětí DC min.</i></b>	0,8 V
<b><i>Výstupní napětí DC max.</i></b>	28 V
<b><i>Výstupní DC proud min.</i></b>	0,2 A
<b><i>Výstupní DC proud max.</i></b>	12 A
<b><i>Maximální výkon</i></b>	300 W



Obrázek 7.2 CC/CV modul (19)

Pro napájení tohoto obvodu byl zvolen AC/DC měnič „XP POWER GCS250PS28“, který splňuje všechny požadavky.

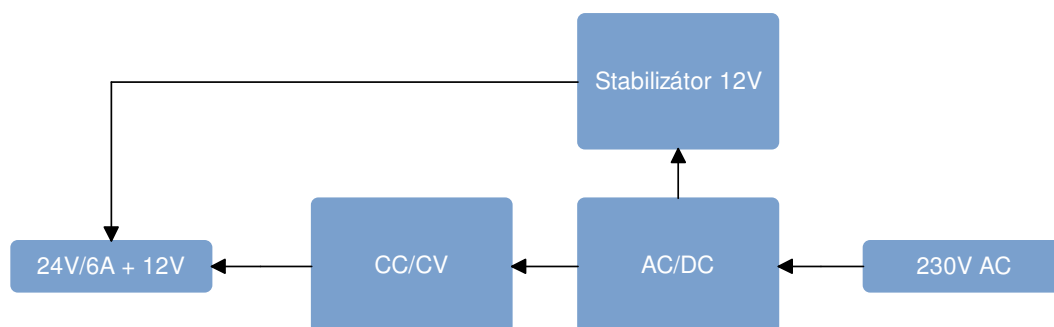
Tabulka 7.2 AC/DC měnič (20)

<i>Parametr</i>	<i>Hodnota</i>
<b><i>Vstupní napětí AC min.</i></b>	85 V
<b><i>Vstupní napětí AC max.</i></b>	264 V
<b><i>Výstupní proud DC max.</i></b>	8,9 A
<b><i>Výstupní napětí DC</i></b>	28 V
<b><i>Maximální výkon</i></b>	300 W



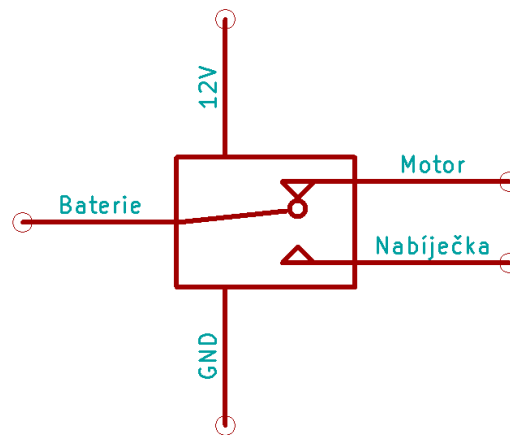
Obrázek 7.3 AC/DC měnič (21)

Koncepce nabíječky je tedy taková, že uživatel zapojí nabíječku do rozvodné sítě na vstupu a na výstupu ji připojí k nabíjecímu konektoru řídicí elektroniky. Koncepce je blokově znázorněna na obrázku 7.4.



Obrázek 7.4 Blokové schéma nabíječky

Stabilizátor pro 12 V je zde pro indikaci připojené nabíječky, toto napětí je využíváno pro sepnutí bezpečnostního relé vestavěného uvnitř řídicího obvodu. Relé umožňuje odpojení budiče výkonových tranzistorů včetně celého H můstku, potažmo celého motoru navijáku. Jedná se o bezpečnostní prvek, který chrání elektroniku při nabíjení. Dále je toto napětí využíváno pro napájení chladicího ventilátoru.



Obrázek 7.5 Nabíjecí relé

V běžném režimu je baterie připojena k výkonovým tranzistorům, potažmo motoru navijáku. Připojením nabíječky je přivedeno napětí na cívku relé, které vytvoří magnetické pole a tím je kotva relé přitažena a dojde k přepnutí kontaktu. Kontakty relé jsou dimenzovány na kontinuální proud  $I_r = 40 A$  při napětí  $U_r = 24 V$  přičemž maximální spínaný výkon relé je omezen na  $P_r = 1\,180 W$ .



Obrázek 7.6 Nabíječka baterie

## Závěr

V rámci této práce byly zprovozněny a otestovány všechny dílčí části na vývojových deskách, po jejichž odzkoušení byla navržena finální deska plošného spoje, která byla osazena a otestována. Během prvotního testování bylo odhaleno několik chyb, které byly neslučitelné s řádným užíváním, proto bylo po odhalení všech chyb přistoupeno k překreslení desky plošného spoje, tato deska již chyby neobsahuje a lze ji užívat. K této desce byl vytvořen firmware, který byl otestován a odladěn a do prostředí Matlab byl vytvořen toolbox, který umožňuje pohodlné vládání. Také bylo nutné provést drobné mechanické úpravy navijáku, zejména potom uchycení snímačů a konstrukci brzdícího mechanismu.

Výsledkem je funkční prototyp, který umožňuje plnohodnotné ovládání navijáku kalibrační vlečné sondy. Konkrétně se jedná o obousměrné navíjení, určování aktuální délky odvinutého lana s přesností  $\pm 10 \text{ cm}$ , určování úhlu svíraného lanem a referenční horizontální rovinou s přesností  $\pm 5^\circ$  a z těchto dvou parametrů určit reálnou vzdálenost sondy od letounu ve směru kolmém na referenční horizontální rovinu, přesnost určení této vzdálenosti je závislé na délce odvinutého lana. Pro maximální délku  $50 \text{ m}$  je přesnost  $\pm 3 \text{ m}$ . Nepřesnost stanovení úhlu není dána ani tak snímačem a elektrickou realizací, jako spíše mechanickými vůlemi. Dále systém umožňuje kompletní správu Li-Pol baterie, kterou chrání před přílišným vybitím, přílišným nabitím, vysokou proudovou zátěží a před přehříváním, systém umožňuje také zkonstruovanou nabíječkou tuto baterii nabíjet. Případně je možné baterii pohodlně odpojit a vyměnit za již nabitou.

Uživatel má na výběr ovládání prostřednictvím dvou rozhraní, bezdrátovou technologií Wi-Fi, nebo drátovou sběrnici USB. Systém je konstruovaný tak, aby obě technologie byly naprosto rovnocenné. Jediné na co je potřeba brát zřetel, je otevření správného fyzického rozhraní v prostředí Matlab, ze kterého se celý systém ovládá, zbytek skriptů je totožný.

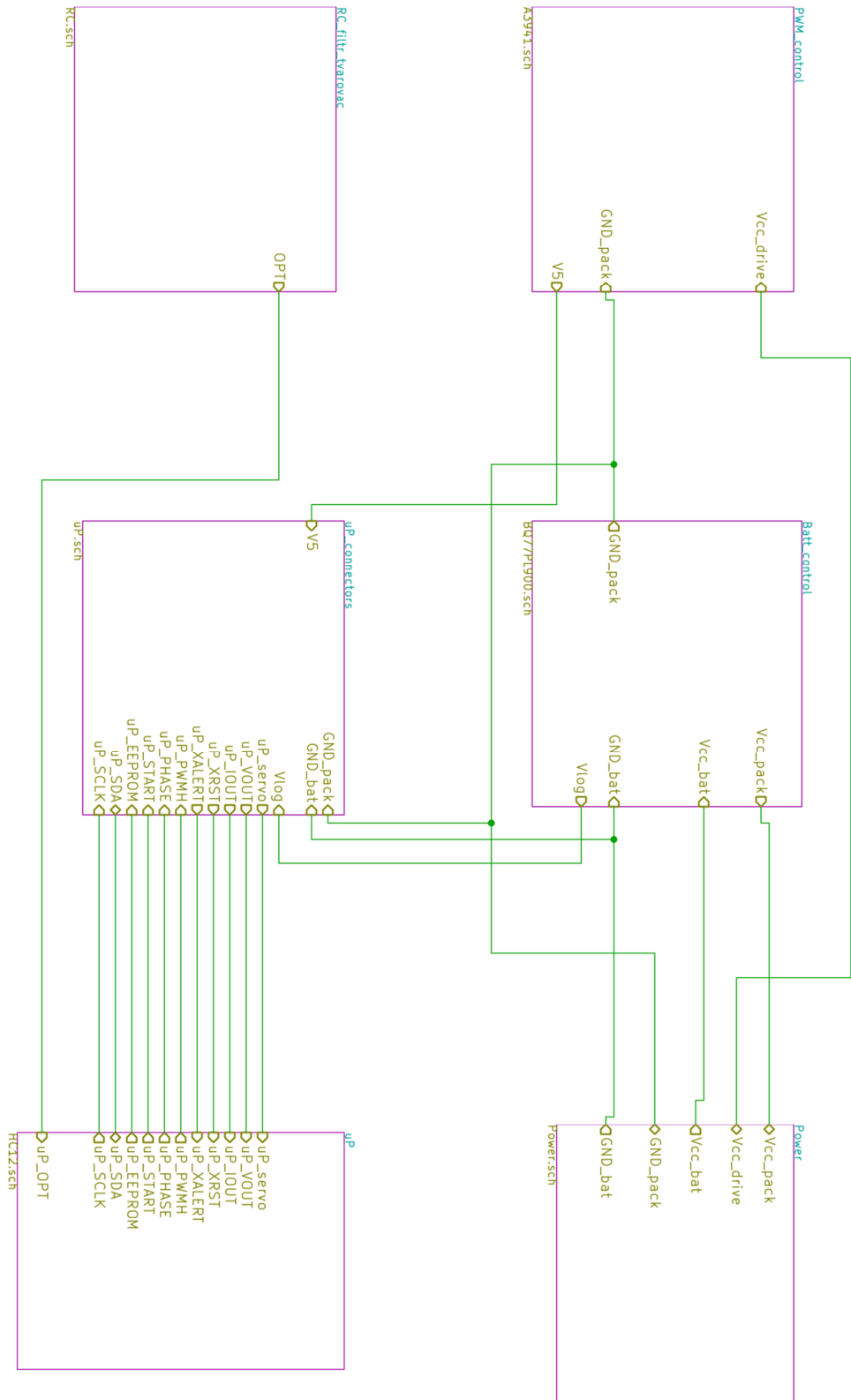
Při vývoji tohoto systému bylo dbáno na co nejvyšší úroveň komfortu ovládání a s ohledem na chyby obsluhy, díky tomuto existuje pouze jediné možné zapojení všech silových i datových vodičů vně krabičky. Jedná se především o použití konektorů s kódem, kdy je pouze jediná možnost zapojení.

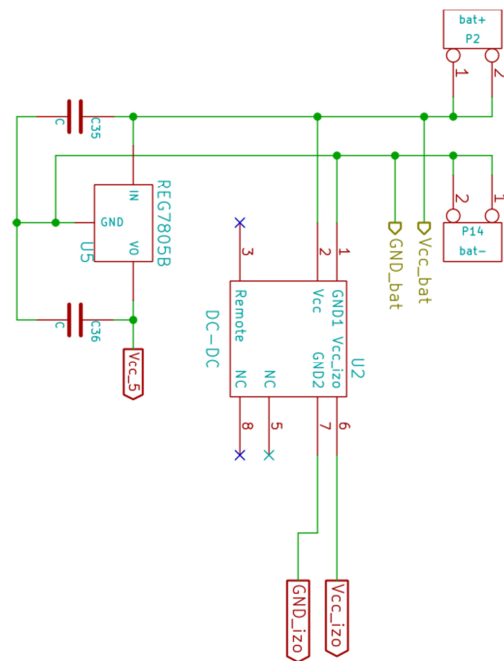
Celý systém je uzavřen v jedné kompaktní krabičce o malých rozměrech, ze které jsou vyvedeny všechny nezbytné konektory pro správnou funkčnost. Krabička skrývá jen jedinou desku plošného spoje, Wi-Fi bezdrátový adaptér a přepínací relé pro případ připojené nabíječky, všechny komponenty jsou dimenzovány na trvalou zátěž 30 A. Při překročení této hranice zasáhne obvod pro ochranu baterie a baterii odpojí. V případě, že ochranný obvod z jakéhokoli důvodu baterii neodpojí, je v systému zařazena tavná pojistka, takže by k razantnímu poškození systému nemělo dojít za žádných okolností.

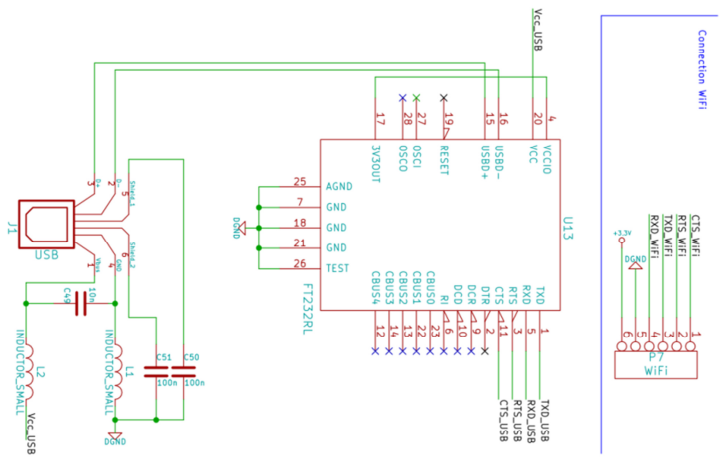
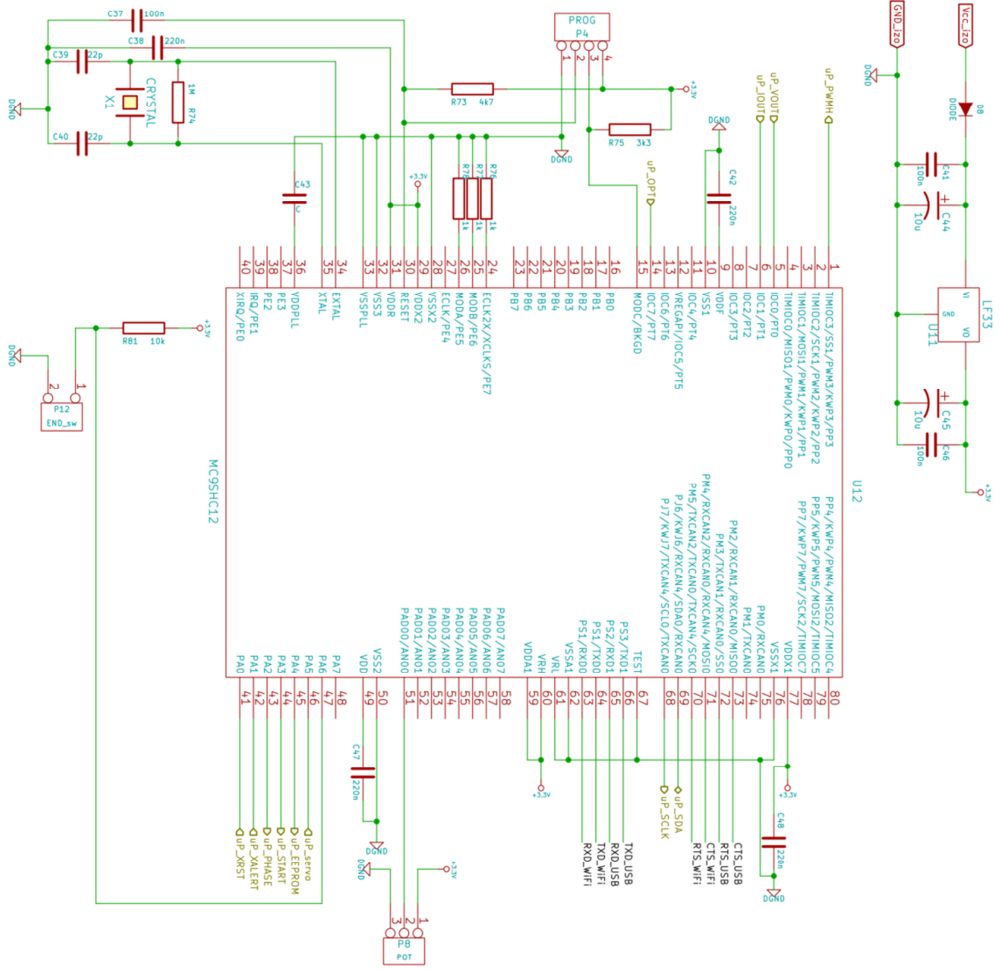
Systém byl také otestován ve větrném tunelu ústavu VZLU v Praze – Letňanech, při testování se neprojeví překážky, které by neumožnily použití navijáku v proudu vzduchu. Dle zadání této práce byla funkčnost zařízení otestována v teplotním rozsahu 0 až 40 °C. V tomto teplotním rozsahu se také neprojeví problémy spojené s užíváním. Značně omezujícím faktorem je zde použitá Li-Pol baterie, která může pracovat pouze v teplotách nad nulou. Řešením by bylo umístit baterii například do letounu – systém to umožňuje, nicméně byl tento systém vyvíjen jako celek i s baterií, proto se testy pod bodem mrazu neuskutečnily.

I přes veškeré úsilí při vývoji tohoto systému a provedené testy je možné, že se v průběhu užívání objeví nové skutečnosti, na které bude nutné zareagovat změnou firmwaru případně hardwaru, nicméně by to neměly být zásadní změny.

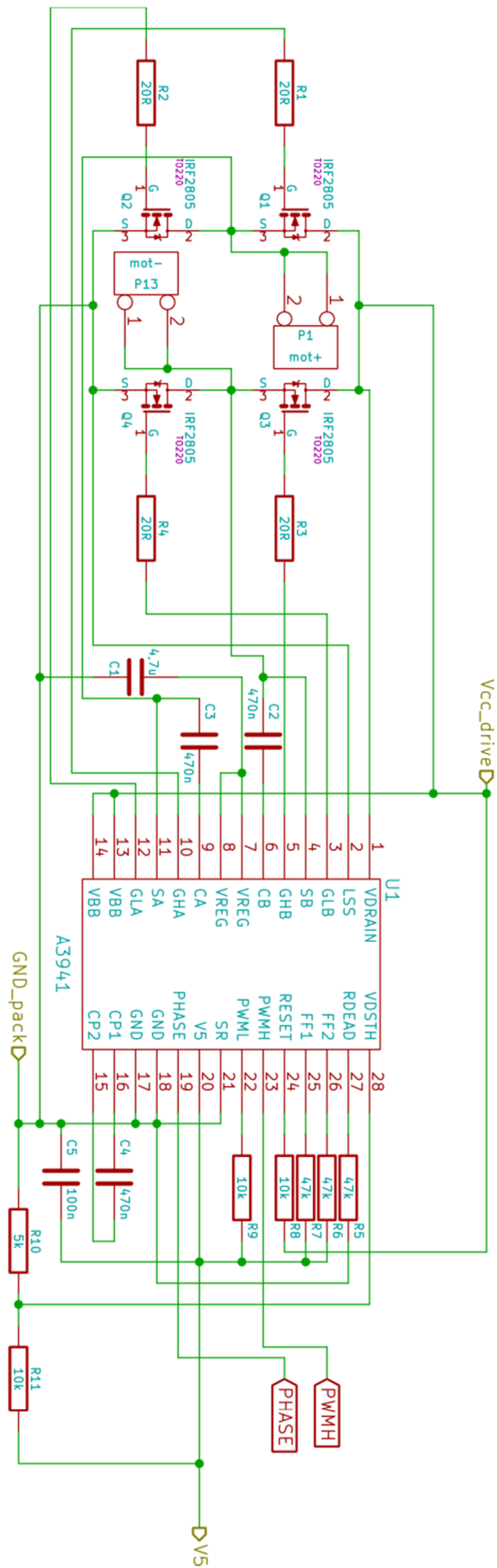
# Příloha A - kompletní elektrické schéma

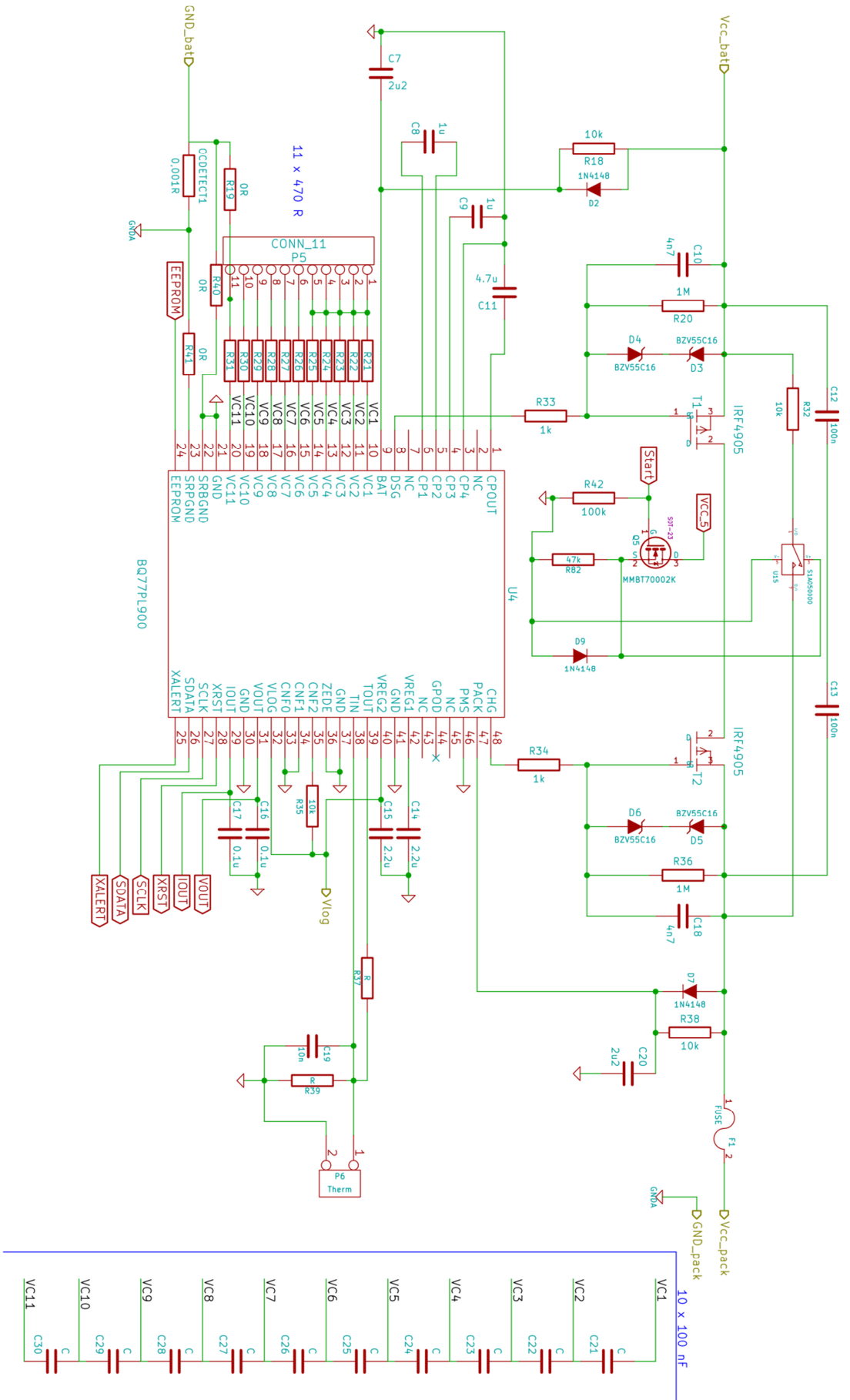


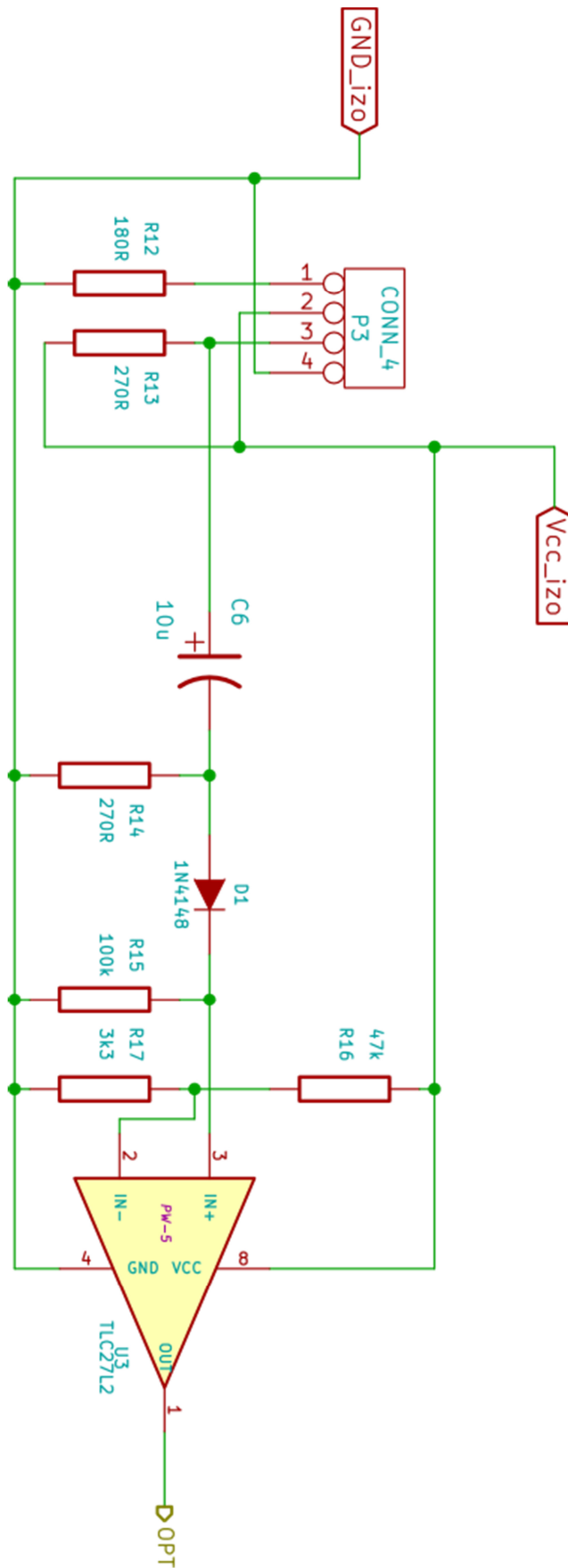




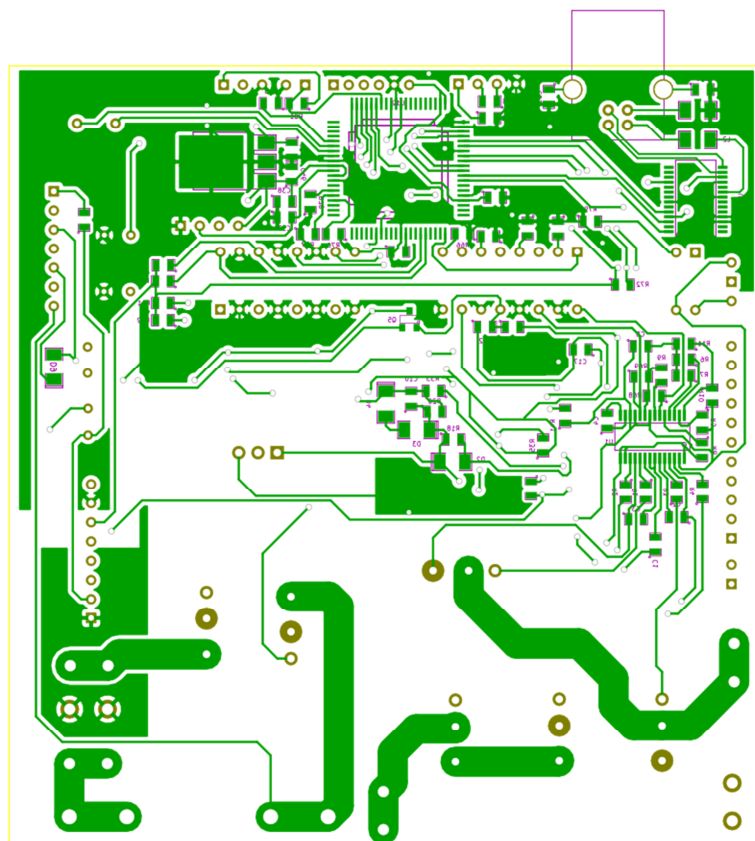
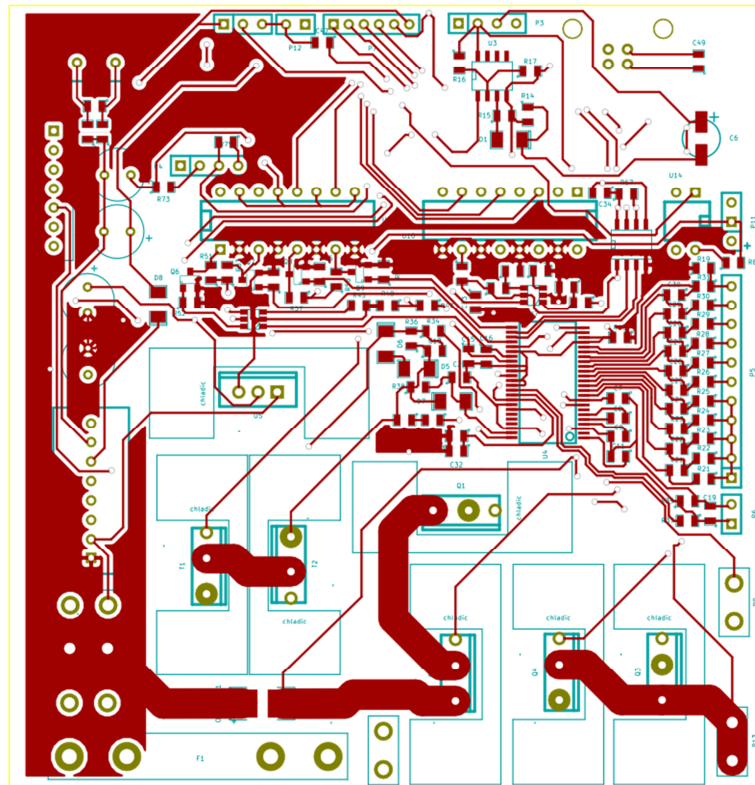




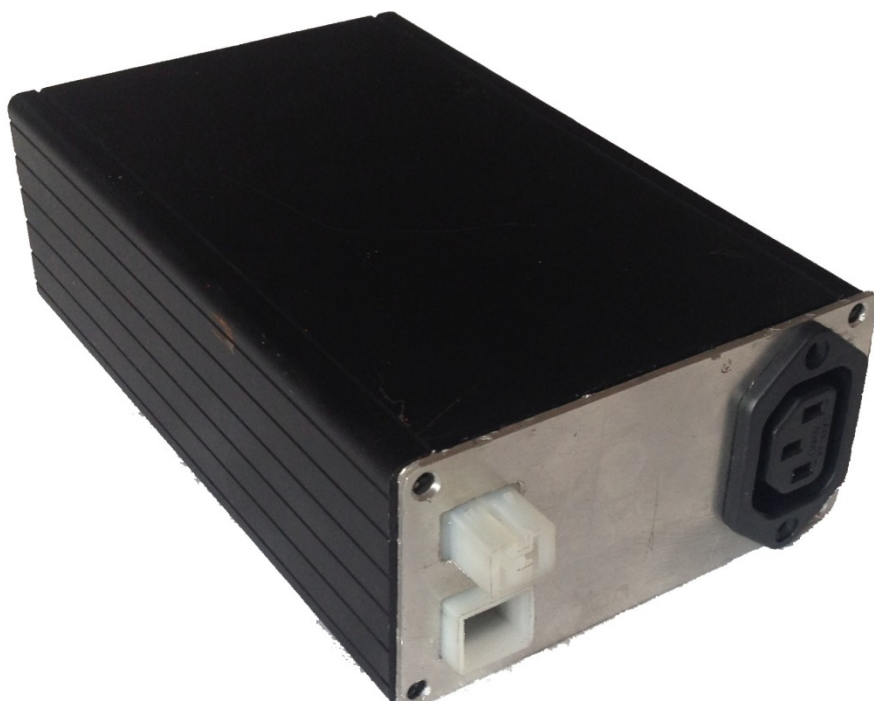




## Příloha B – návrhy DPS



## Příloha C – obrázky zařízení



## Citovaná literatura

1. **Schinkmann, Bruno.** *Elektronika navijáku vlečné kalibrační sondy.* Praha : ČVUT FEL, 2013. Bakalářská práce.
2. **Auersvald, Jan.** *Sonda pro kontrolu aerodynamického systému letadla.* Praha : ČVUT FEL, 2010. Bakalářská práce.
3. [Online] Ilustpop. [Citace: 25. Duben 2013.] [http://illpop.com/img\\_illust/car/plane\\_m05.png](http://illpop.com/img_illust/car/plane_m05.png).
4. [Online] Technische Universität Braunschweig, 26. Duben 2010. [Citace: 20. Duben 2013.] <https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/iff/iff-ibufschleppsonde01.jpg>.
5. Spur gearing electric motor . [Online] [Citace: 23. 04 2015.] <http://shop.mat-con.net/Spur-gearing-electric-motor-Unite-MY1016Z3-DC-350W-24V>.
6. Electric Bike DIY 36V350W. *Yongkang Mingyang Motor & Accessories Co., Ltd.* [Online] Yongkang Mingyang Motor & Accessories Co., Ltd. [Citace: 23. 04 2015.] <http://zjmy-lu.en.made-in-china.com/product/CeWnumBgZbRF/China-Electric-Bike-DIY-36V350W-Motor-Engine-Generator-Brushed-MY1016Z3-.html>.
7. RN 131G & RN 131C 802.11b/g wireless LAN module. *Přehled vlastností.* Los Gatos : Roving Networks, 2012.
8. Automotive full bridge MOSFET driver. *Datasheet.* Worcester : Allegro microsystems, 2011. Rev. 5.
9. MC9S12XEP100. *Referenční příručka.* místo neznámé : Freescale, 2013. Rev. 1.25.
10. **Doc. Ing. Josef Vedral, CSc. a Doc. Ing. Jan Fischer, CSc.** *Elektronické obvody pro měřící techniku.* Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02966-2.
11. LTV-817. *Datasheet.* místo neznámé : LiteON, 2012. 12-114.
12. **autorů, Kolektiv.** ADuM1250/ADuM1251. *Datasheet.* místo neznámé : Analog Devices, 2014. Rev. G.
13. LTC6992. *Datasheet.* Milpitas : Linear technology, 2011. Rev. C.

14. Five to ten series cell Li - ion or Li - pol battery protector. *Datasheet*. Dallas : Texas Instruments, 2009.
15. Cosmo Reles1A. *Datasheet*. místo neznámé : Cosmo electronic corporation, 2002. Rev. 5.
16. MMBT7002K. *Datasheet*. Praha : GME.
17. **Massoth, Willy**. Cell balancing with the bq77pl900. *Datasheet*. Dallas : Texas Instruments, 2008.
18. Battery Chargers and Charging Methods. *Batery and energy technology*. [Online] [Citace: 15. 04 2015.] <http://www.mpoweruk.com/chargers.htm>.
19. CC/CV module. [Online] eBay. [Citace: 26. 04 2015.] [http://i.ebayimg.com/00/s/MTAxMFgxMDEw/z/q28AAOSwmrIUwiw0/\\$\\_57.JPG](http://i.ebayimg.com/00/s/MTAxMFgxMDEw/z/q28AAOSwmrIUwiw0/$_57.JPG).
20. CC/CV modul. [Online] eBay. [Citace: 24. 03 2015.] [http://www.ebay.com/itm/DC-DC-CC-CV-Buck-Converter-Step-down-Power-Supply-Module-7-32V-to-0-8-28V-12A-EC-/221670461819?pt=LH\\_DefaultDomain\\_0&hash=item339c96d17b](http://www.ebay.com/itm/DC-DC-CC-CV-Buck-Converter-Step-down-Power-Supply-Module-7-32V-to-0-8-28V-12A-EC-/221670461819?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item339c96d17b).
21. AC/DC power supply. *Datasheet*. místo neznámé : XP power, 2014.
22. IRF2807. *Datasheet*. El Segundo : IR World Headquarters, 2006.
23. IRF4905. *Datasheet*. El Segundo : IR World Headquarters, 2006.
24. IRML2502. *Datasheet*. El Segundo : IR World Headquarters, 2003.