

Spojená škola, o. z.
Stredná priemyselná škola elektrotechnická S. A. Jedlika
Komárňanská 28, Nové Zámky

„DroneLogger - hardvér“

Vlastný projekt

Praktická časť odbornej zložky maturitnej skúšky

2019
Nové Zámky

riešiteľ:
Richard Kováč
ročník štúdia: štvrtý

konzultant:
Ing. František Hortai

Spojená škola, o. z.
Stredná priemyselná škola elektrotechnická S. A. Jedlika
Komárňanská 28, Nové Zámky

PRAKTICKÁ ČASŤ ODBORNEJ ZLOŽKY MATURITNEJ SKÚŠKY

Vlastný projekt

Meno študenta:	Richard Kováč
Trieda:	IV.IT
Školský rok:	2018/2019
Študijný odbor:	Informačné a sieťové technológie
Interný konzultant:	Ing. František Hortai
Externý konzultant:	-

Názov projektu: „Dronelogger - hardvér“

žiak

externý konzultant

interný konzultant

zástupca riaditeľa školy

Čestné vyhlásenie

Týmto čestne vyhlasujem, že som celú túto prácu, výskum, vývoj a návrh hardvéru robil samostatne, s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý, že pokiaľ by mnou uvedené vyhlásenie nebolo pravdivé, budem čeliť všetkým z toho vyplývajúcim následkom.

Nové Zámky, 21. január 2019

vlastnoručný podpis

Pod'akovanie

Chcel by som sa pod'akovať môjmu konzultantom práce, Ing. Františkovi Hortaiovi, za vedenie a cenné pripomienky pri záverečnom spracovaní práce a Ing. Tiborovi Molnárovi za cenné rady pri riešení práce.

Obsah

Úvod	6
Cieľ práce	7
Metodika práce	8
1 Hardvérové revízie	9
1.1 Hardvérové revízie	9
1.1.1 Rev. nultá	9
1.1.2 Rev. prvá a druhá	10
1.1.3 rev. tretia	11
2 Hardvér tretej verzie - časť pilota	12
2.1 Plastové diely častí na a v RC súprave	12
2.1.1 Plastové diely zobrazovacieho panelu	12
2.1.2 Plastové diely modulu v RC súprave	13
2.2 Elektronika častí na a v RC súprave	15
2.2.1 Elektronika zobrazovacieho modulu	15
2.2.2 Elektronika modulu RC súpravy	16
2.2.3 Schéma hlavnej logiky	16
2.2.4 Schéma bezdrôtovej komunikácie	17
2.2.5 Schéma napájanie a VS	18
2.3 Dizajn DPS	19
3 Hardvér tretej verzie - časť bezpilotného stroja	20
3.1 Dizajn a konštrukčné riešenie plastových dielov	20
3.1.1 Horný a spodný diel krabičky	21
3.2 Schéma zapojenia, odôvodnenie výberu súčiastok	23
3.2.1 Úsek mikrokontroléra	25

3.2.2	Úsek bezdrôtovej komunikácie	25
3.2.3	Úsek snímania pozície	26
3.2.4	Úsek správy interného akumulátora	28
3.2.5	Úsek regulácie napäťia	28
3.2.6	Úsek vstupov / výstupov a úsek filtrovania	29
3.3	Dizajn DPS	31
4	Fungovanie systému	32
4.1	Modul RC súpravy	32
4.2	Modul Bezpilotného stroja	33
Závery práce		35
Resumé		36
Zoznam použitej literatúry		37
Prílohy		39

Úvod

Bezpilotné lietajúce stroje, po Anglicky UAV (Unmanned Aerial Vehicle) alebo ľudovo „Drony“ sú každým dňom prístupnejšie aj pre neskúsených užívateľov. Tento rýchly nárast amatérov bez základných znalostí konštrukcie či ovládania spôsobil aj nárast havarijných situácií a incidentov [1] – ako je vidieť aj v médiach. Na trhu sa nachádza aj druhá skupina užívateľov – profesionáli, ktorí majú lietajúce stroje osadené drahým vybavením a aj malá chyba môže mať fatálne (finančné) následky. Rozhodli sme sa vyriešiť problémy oboch týchto skupín jedným zariadením DroneLogger ktoré zaznamenáva polohu pripojeného stroja v priestore – náklon na všetkých osiach a jeho polohu v priestore. Zariadenie varuje pilota pri prekročení maximálneho dovoleného náklonu a navedie ho na jeho stabilizáciu. Zariadenie pozostáva z dvoch častí – „vysielačej“ – DroneLogger Air ktorá je umiestnená na lietajúcim stroji a „prijímacej“ – DroneLogger Ground ktorá je umiestnená priamo v RC súprave užívateľa. Užívateľ môže sledovať polohu lietajúceho stoja na farebnom LCD displeji a zároveň sa údaje o polohe zaznamenávajú na SD kartu. Záznam je štandardizovaný a po lete je možný jeho import do Google máp. Zaobral vývojom hardvéru pre obe zariadenia, od návrhu 3D modelov krabičiek cez výber elektronických komponentov až po vytvorenie schém a výroby plošných spojov na mieru. V práci vás oboznámim z vývojom pre minulé, terajšiu aj budúcu verziu systému.

Cieľ práce

Cieľom práce bolo vytvoriť systém schopný:

- zaznamenávať polohu lietajúceho zariadenia, teda jeho GPS súradnice, výšku, rýchlosť a náklon
- zobrazovať zaznamenané dátá na displeji podobe dynamickej grafiky – umelého horizontu a kompasu
- navrhnuť spôsob bezdrôtovej komunikácie medzi zariadením na lietajúcom stroji a zariadením umiestnenom v RC súprave užívateľa
- zaznamenávanie získaných dát na SD kartu

Pri návrhu hardvéru sme museli brať ohľad na rôzne aspekty systému – užívateľské pohodlie, napájanie z RC súpravy a lietajúceho stroja, rušenie z motorov vibračné a elektromagnetické a mnoho ďalších.

Metodika práce

Vývoj hardvéru na nás systém bol komplexný proces ktorý sme rozdelili na niekoľko úkonov a otázok ktoré sme sa počas vývoja pýtali:

Najskôr sme si musíme definovať pre koho systém je – pre profesionálov ako aj amatérov, teda jeho dizajn a ovládanie musí byť intuitívne a jednoduché ale zároveň plnohodnotné.

Ďalší v poradí bol výber uhlopriečky zobrazovacieho panela – displeja od firmy Nextion, okolo ktorého je postavená zobrazovacia časť prijímacieho modulu. Zvolili sme ideálnu uhlopriečku – 5“ ktorá je dostatočne veľká aj na komplexnú grafiku a zároveň dostatočne kompaktná aby nezaťažovala užívateľa svojimi rozmermi a váhou.

Ku zvolenému displeju bolo nutné vybrať mikrokontrolér a komplementárnu elektroniku – Tu je dôležité napájanie z univerzálneho modulového slotu, komunikácia s „lietajúcim“ modulom, vstup užívateľa cez dotykový displej a celková univerzálnosť zobrazovacieho modulu – možnosť pripojiť ho na tablet ako aj položiť na stôl prípadne chytiť do ruky. „Lietajúci“ modul má priority úplne odlišné – musí byť ľahký, kompaktný, s nízkou spotrebou a vysokou odolnosťou voči nárazom, tekutinám a prachu.

Pre celý systém je dôležitý dlhý dosah a odolnosť voči externým aj interným interferenciám.

Kapitola 1

Hardvérové revízie

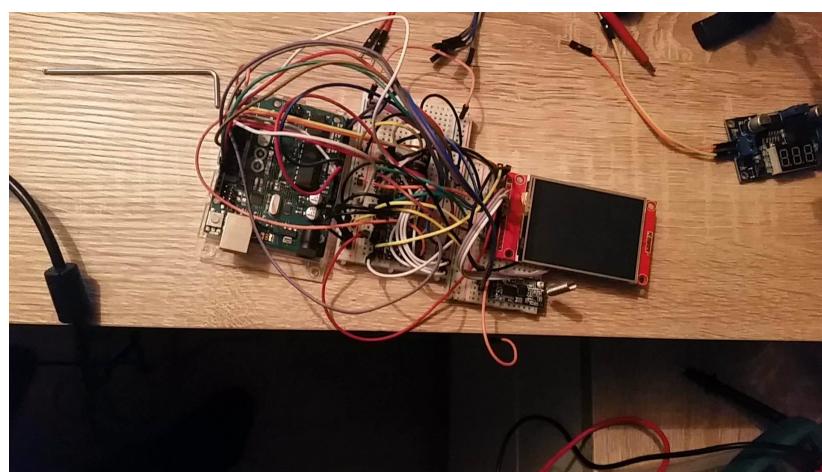
Ked'že je systém DroneLogger niekoľkoročný projekt prešiel viacerými hardvérovými aj softvérovými revíziami, od preliminárnych zapojení do kontaktného poľa až po optimalizovaný hardvér na mieru viditeľný v terajšej verzii systému.

V tejto kapitole sa pozrieme na jednotlivé hardvérové iterácie a popíšeme ich základné vlastnosti a poznatky získané počas ich vývoja.

1.1 Hardvérové revízie

1.1.1 Rev. nultá

Ked'že náš projekt vychádza z našej vlastnej myšlienky zjednodušiť a zlepšiť navigovanie bezp. strojov v priestore aj hardvér vychádzal "z ničoho". Prvý nutný krok bol overenie myšlienok a technologických postupov v praxi zapojením rôznych senzorov do kontaktného poľa. Toto zapojenie bolo statické a slúžilo iba ako tzv. "*Feasibility study*" pre ďalšie revízie.



Obr. 1.1: Prvotné zapojenie "na stole"

1.1.2 Rev. prvá a druhá

Tieto prvé iterácie boli určené primárne na výber a vývoj hardvéru, softvéru, materiálov, umiestnenia samotného systému na lietajúcom stroji ako aj vysielači pilota a jeho komfortu používania. Tieto verzie neboli určené pre koncových užívateľov. Prvé verzie systému využívali jeden, neskôr dva grafické 2.8" displeje na báze čipu ILI9341 [2] na ktoré vypisuje dátu a grafiku priamo mikrokontrolér (najskôr Atmega328p [3], neskôr MK20DX256VLH7 [4]) ktorý ich ovláda. Toto bol jedným z hlavných dôvodov prechodu na dosku Teensy 3.2 ktorá nahradzuje pomalý AVR procesorom moderným s ARM architektúrou, zachováva si však plnú kompatibilitu s Arduino IDE. Neskôr sa začali prejavovať problémy s vykresľovaním dynamickej grafiky, hlavne umelého horizontu. Z tohto dôvodu sme sa rozhodli prekopať hardvér a softvér a začať vývoj novej verzie.



Obr. 1.2: Prvá revízia s jedným panelom

1.1.3 rev. tretia

Pri jeho návrhu sme už mysleli na finálnu aplikáciu do praxe a tak sme „prijímacej“ časti prispôsobili komfortu užívateľa a hardvér „vysielacej“ časti jednoduchosti pripojenia a integrácie s lietajúcim strojom. Taktiež sme mysleli na húževnatosť „prijímacej“ časti čo je vidieť na tvare a prevedení krabičky. Problém s vykreslovaním dynamickej



Obr. 1.3: Tretia, finálna revízia plastových dielov

grafiky sme vyriešili implementovaním päťpalcového displeja od firmy Nextion ktorý má vlastnú pamäť a ovládanie elektroniku pre graficko-užívateľské rozhranie. Displej komunikuje s mikroprocesorom „prijímacieho“ modulu pomocou zbernice UART. Týmto sa vyriešil aj problém s nedostatočným výkonom predošej verzie a nutnosťou ARM mikrokontroléra. Ďalej sme prispôsobili hardvér tak aby ho bolo možné pripojiť priamo do RC súpravy pilota.

Kapitola 2

Hardvér tretej verzie - časť pilota

Hardvér časti pilota systému DroneLoger3 sa skladá z mnohých častí, rozdelíme si ho teda na sekcie:

- Plastové diely častí na a v RC súprave
- Elektronika častí na a v RC súprave
- Dizajn DPS

2.1 Plastové diely častí na a v RC súprave

2.1.1 Plastové diely zobrazovacieho panelu

Celý vývojový proces plastových dielov zobrazovacej časti sa musel podriadiť dvom veciam – Vybranému zobrazovaciemu panelu od firmy Nextion [5] a nutnosti kompatibility s univerzálnym JR modulom nachádzajúcim sa v zadnej časti väčšiny RC súprav na trhu.

Výsledný dizajn krabičky zobrazovacieho zariadenia je ľahký (minimum materiálu na tlač), kompaktný, dostatočne pevný, ponúka množstvo možností uchytenia (dizajn „spôn“ na pripnutie na tablet) a je esteticky príjemný.

Skladá sa z troch, resp. štyroch častí – čelného krytu displeja ktorý samotný displej chráni a poskytuje miesto na logo, samotného displeja, zadného/stredného krytu displeja ktorý displej tak tiež chráni a zadného výstupného/napájacieho ktorý obsahuje USB konektor na napájanie a komunikáciu s modulom vo vysielači pilota. Všetky 3 diely sú spojené metrickými skrutkami M3 10mm. Proces 3D návrhu prebehol v softvéri Fusion360, neskôr boli diely vytlačené z ABS¹ plastu na 3D tlačiarni. ABS plast bol zvolený z viacerých dôvodov – je lacný, ľahký, odolný voči teplu ($T_g = 105C$) a pevný v ťahu aj v ohybe (UTS = 6600 PSI; FS = 10800 PSI).



Obr. 2.1: Zobrazovací modul DroneLogger Air

2.1.2 Plastové diely modulu v RC súprave

Počas návrhového a vývojového procesu bolo nutné zohľadniť niekoľko dôležitých faktov: Modul obsahujúci elektroniku musí byť kompatibilný s JR modulovým slotom ktorým disponuje väčšina RC súprav na trhu a modul nesmie prekážať v komfortnom využívaní RC súpravy svojimi rozmermi či umiestnením externej antény.



Obr. 2.2: Modul vo vysielačke FrSky Taranis

¹Akrylonitrilbutadiénstyrén

Výsledný dizajn spĺňa všetky tieto parametre a skladá sa zo štyroch časťí:

- Vrchného krytu ktorý zabezpečuje ochranu a chladenie elektroniky
- Samotnej elektroniky
- Spodného krytu pripojiteľného do modulu JR
- Antény pripojenej k internému RF modulu



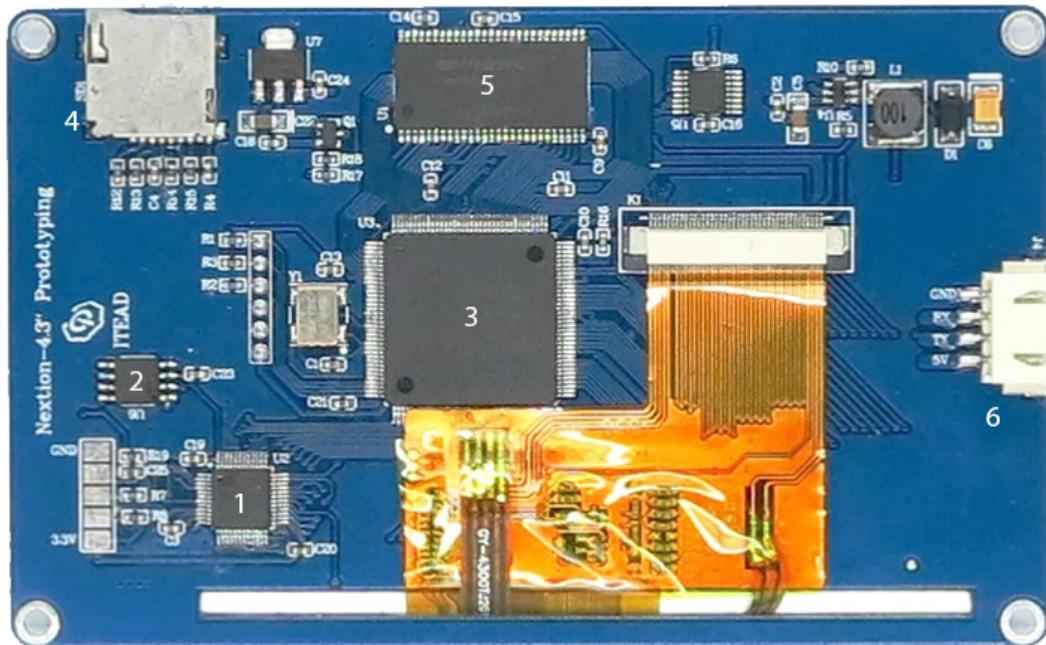
Obr. 2.3: Časti modulu

Vrchný kryt obsahuje perforované bočné steny umožňujúci lepšie chladenie elektroniky a otvory na konektor USB typu A a konektor typu SMA na anténu interného RF modulu. Spodný kryt obsahuje otvor pre hrebienkový konektor ktorý umožňuje napájanie modulu a komunikáciu s RC súpravou a slot na SD kartu slúžiacu na záznam letových údajov. Návrh všetkých častí prebehol v 3D CAD softvéri Fusion360, diely boli následne vytlačené na 3D tlačiarni z ABS¹ plastu z rovnakých dôvodov ako pri zobrazovacom paneli.

2.2 Elektronika častí na a v RC súprave

2.2.1 Elektronika zobrazovacieho modulu

Zobrazovací modul je primárne plastový, jedinými elektronickými súčiastkami sú DPS zabezpečujúca komunikáciu cez USB s modulom vo vysielači a HMI riešenie NX4827T043 od firmy Nextion. Je to LCD panel o uhlopriečke 4.3", rozlíšení 480 x 272 obrazových bodov podporujúci 65K farieb s rezistívou dotykovou vrstvou. Ked'že sa jedná o HMI, panel obsahuje aj 16MB integrovanej Flash pamäte (pre vykreslovanú grafiku), riadiaci mikrokontrolér (STM32 [6]) a grafický procesor (ALTERA MAX II FPGA [7]) doplnený o RGB buffer v podobe RAM pamäte. Vývojové WYSIWYG prostredie je dodávané výrobcom, softvér obsluhujúci panel je nezávislý od pripojeného mikrokontroléra (v našom prípade Atmega328pb) s ktorým komunikuje pomocou obojsmernej UART zbernice. Jej primárny účel je zadávanie obslužných príkazov displeju, teda mu "hovorí" čo zobraziť. Táto zbernice taktiež odovzdáva informácie o stlačení dotykovej vrstvy displeja riadiacemu mikrokontroléru. Absolútна nezávislosť má niekoľko výhod - softvér displeja bežiaci z SD karty v integrovanom slote je veľmi ľahko inovovateľný bez nutnosti zásahov do prostredia riadiaceho mikrokontroléra. Toto značne znižuje výkonové požiadavky na externú ovládaci elektroniku.



Obr. 2.4: 1)STM32 MCU, 2)16M FLASH, 3)FPGA chip, 4)Micro-SD slot, 5)RGB Buffer, 6)UART int.

2.2.2 Elektronika modulu RC súpravy

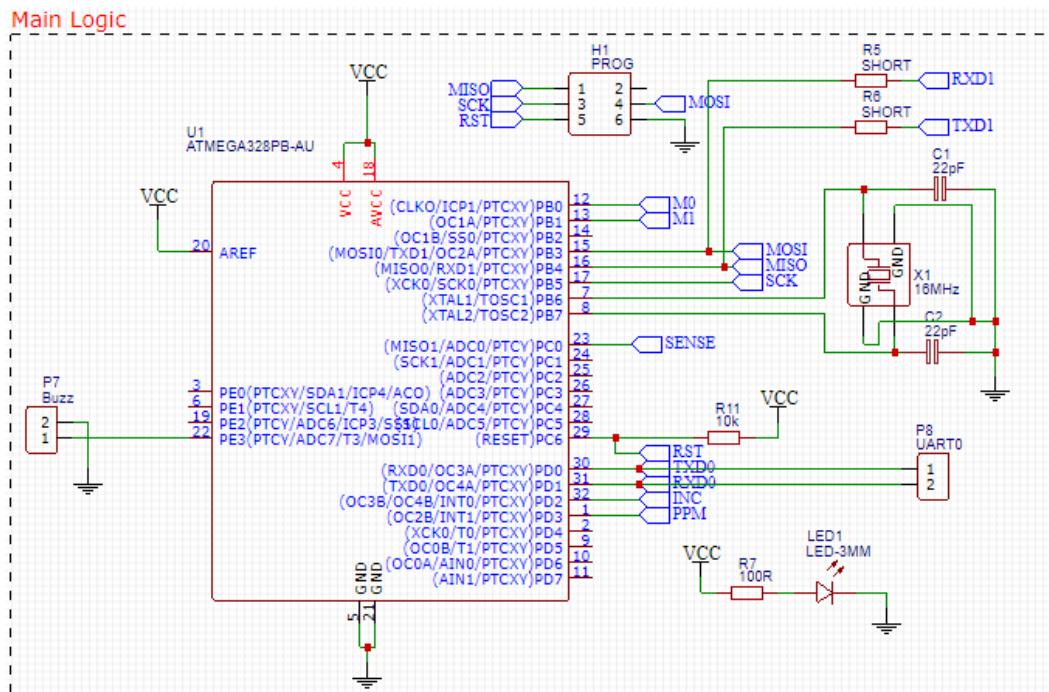
Všetky schémy a DPS sme navrhovali v cloudovom CAD softvéri EasyEda z dôvodu jeho dostupnosti kdekoľvek, širokej komunite používateľov a jednoduchosti následného objednania DPS. Z dôvodu prehľadnosti si túto sekciu rozdelíme na niekoľko častí:

- Schéma hlavnej logiky
- Schéma bezdrôtovej komunikácie
- Schéma napájanie a VS
- Dizajn DPS

Celú schému je možné nájsť v prílohoch (A)

2.2.3 Schéma hlavnej logiky

V tejto časti sa zameriame na hlavnú časť celkovej schémy modulu RC súpravy - schému hlavnej logiky:



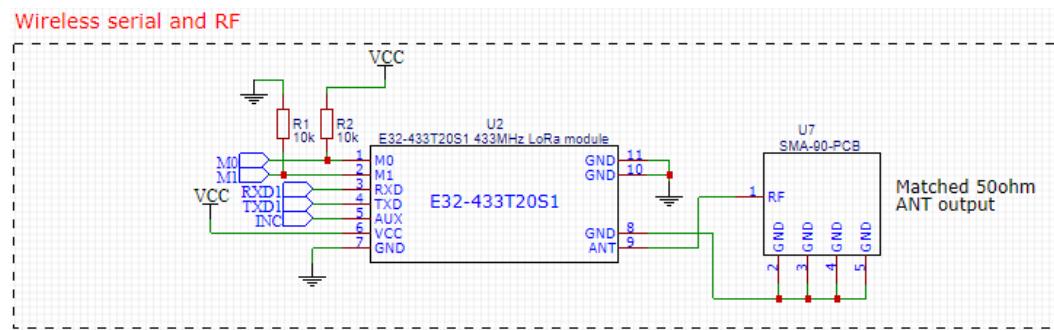
Obr. 2.5: Schéma hlavnej logiky

Tu je jedna z najdôležitejších súčasti celého modulu - mikrokontrolér Atmega328pb[3]. Je to jednoduchý a všeobecný mikrokontrolér spoločnosti Atmel (Microchip po akvizícii) AVR architektúry. O jeho všeobecnosť sa stará vysoký počet periférií.

Taktiež pre našu aplikáciu dôležitá súčasť je integrovaný 16bit DAC. Zvolili sme modernizovanú verziu Atmega328pb ktorá má dve hardvérové uart zbernice nutné na paralelnú komunikáciu s HMI riešením a bezdrôtovým sériovým modulom. Ďaľej na schéme môžeme vidieť konektor H1 slúžiaci na programovanie pomocou SPI zbernice (ISP), LED diódu signalizujúcu funkčné napájanie napájanie (LED1), konektor P8 umožňujúci programovanie jednoduchým USB to UART mostíkom po vypálení zavádzacieho programu a externý 16Mhz oscilátor. Taktiež vidíme konektor na piezoelektrický bzučiak na doplnenie vizuálnych informácií z LCD panela audiom a možnosť prerušíť sériové linky zbernice UART1 smerujúce do bezdrôtového modulu. Táto časť schémy má niekoľko funkcií, medzi hlavné patria komunikácia s bezdrôtovým modulom, spracovanie komunikačného packetu, odovzdanie inštrukcií HMI riešeniu, ovládanie piezoelektrického bzučiaka a čítanie vstupného napájacieho napäťa pomocou DAC.

2.2.4 Schéma bezdrôtovej komunikácie

Tento úsek hlavnej schémy obsahuje hlavne bezdrôtový sériový modul zabezpečujúci komunikáciu medzi modulmi v RC súprave a na lietajúcom stroji:

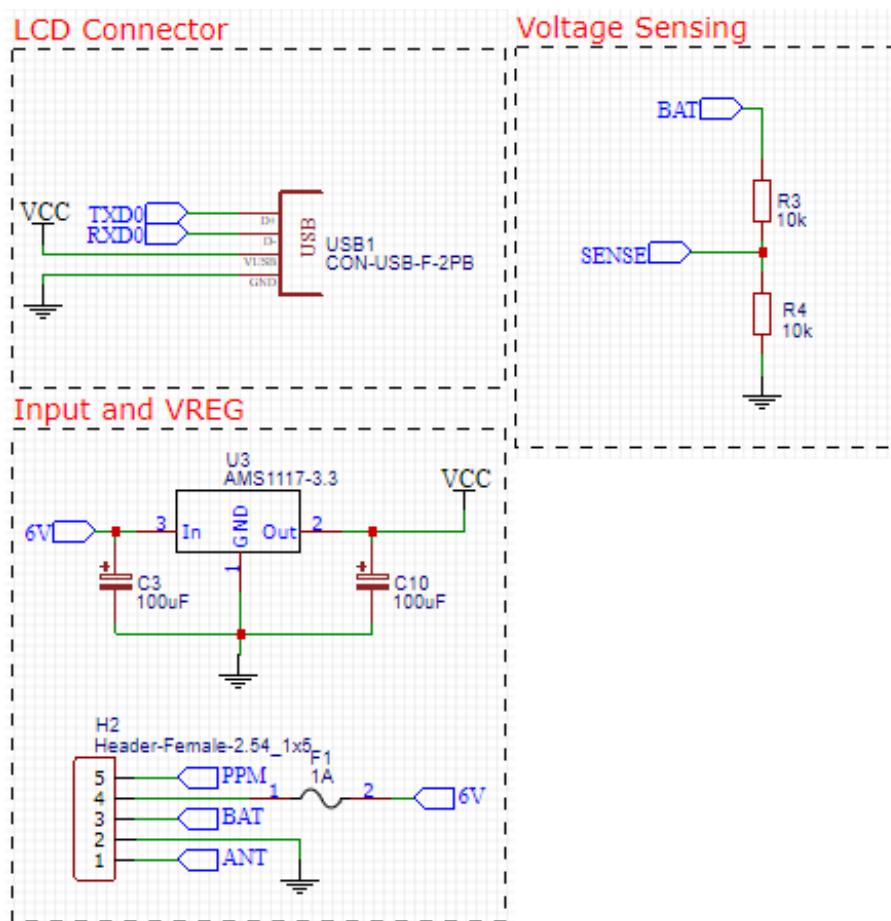


Obr. 2.6: Schéma bezdrôtovej komunikácie

Tejto časti schémy dominuje bezdrôtový sériový modul E32-433T20S1[8] čínskej spoločnosti Ebyte. Je založený na čipe SX1278[9] spoločnosti Semtech. Kľúčové vlastnosti tohto čipu, teda aj nami vybraného modulu sú podpora LoRa™ FHSS Spread-Spectrum modulácie, -148dBm vstupná citlivosť a +20dBm vysielací výkon v pásme 433Mhz s veľmi nízkou spotrebou. Okrem horeuvedených vlastností tento čip disponuje až 19.2kbps (0.3kbps @ -148dBm) bezdrôtovým bitratom. Všetky tieto vlastnosti spolu s až 256B CRC zabezpečujú konštantné výsledky aj vo vysoko zarušenom prostredí. V testoch[10] dosahuje modul až 3000m komunikačnú vzdialenosť v realistických podmienkach. K modulu je možné pripojiť anténu pomocou SMA konektora.

2.2.5 Schéma napájanie a VS

Tu sa zameriame na napájanie, konektor zabezpečujúci komunikáciu s HMI riešením, pripojenie ku RC súprave a čítanie napäťa na vstupe napájania:



Obr. 2.7: Schéma napájania a VS

V poslednom úseku hlavnej schémy je dominantou napájanie - Lineárny regulátor AMS1117-3.3[11] dostupný od rôznych výrobcov. Bol zvolený z niekoľkých dôvodov - jednoduchosť, teda ja cena zapojenia a nízky výkon celého modulu - nízke ztraty aj pri lineárnom napájaní. Ďalšími súčasťami sú konektor na komunikáciu s HMI riešením - zvolili sme USB typu A. Toto riešenie nám umožňuje spojiť modul v RC súprave so zobrazovacím modulom aj na dlhšie vzdialenosť a to pomocou bežne dostupných USB káblov. Spojenie s RC súpravou je realizované pomocou hrebienkového konektora s rastrom 2.54mm a čítanie napäťacieho napäťa pomocou napäťového deliča v pomere $U_{výs} = \frac{1}{2} U_{vs}$.

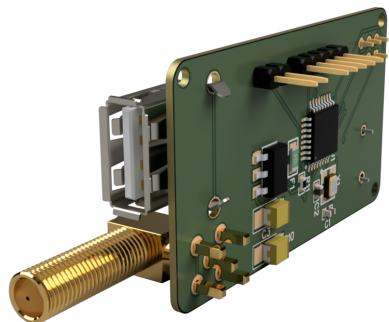
Celú schému je možné nájsť v prílohoch.

2.3 Dizajn DPS

Dizajn plošného spoja prebehol taktiež v clouдовom nástroji EasyEda. O ich následné vyhotovenie sa postarala Čínska firma JLCPCB. Výsledný plošný spoj je obdĺžnikového tvaru o rozmeroch 55mm*31mm a štandardnej hrúbky 1.6mm. Samotný laminát je typu FR4 ($T_g = 140C$).

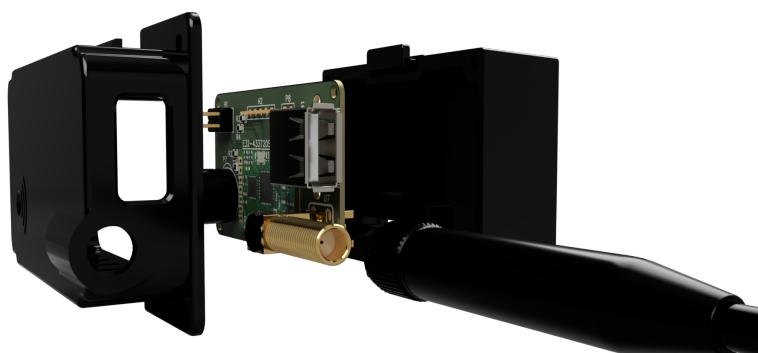


Obr. 2.8: Spodná vrstva DPS



Obr. 2.9: Vrchná vrstva DPS

DPS musí mať v tomto prípade jednu hlavnú vlastnosť - výjsť do formátu JR modulu. Taktiež je dôležité správne rozmiestnenie konektorov - SMA a USB konektory je nutné umiestniť na vrchnej (kratšej) strane z dôvodu polohy modulu v RC súprave - smer antény a pripojeného USB káblu by mal byť totožný s integrovanou anténou RC súpravy. Ideálna pozícia bzučiaku je taktiež smerom hore (na hornej vrstve) - od tela RC súpravy. Hrebienkové konektory napájania a sériovej zbernice UART1 musia smerovať dolu - do tela RC súpravy. Ideálna pozícia bezdrôtového modulu je na vrchnej vrstve z termálnych dôvodov, z rovnakých dôvodov sme umiestnili zvyšok citlivej elektroniky na vrstvu opačnú.



Obr. 2.10: Osadenie DPS v krabičke

Kapitola 3

Hardvér tretej verzie - časť bezpilotného stroja

V tejto kapitole sa pozrieme na návrh a fungovanie modulu bezpilotného stroja teda na dizajn jeho plastových dielov, schémy a objasníme dôvody zvolenia konkrétnych komponentov resp. technologických riešení. Pre sprehľadnenie si kapitolu opäť rozdelíme na niekoľko sekcií:

- Dizajn a konštrukčné riešenie plastových dielov
- Schéma zapojenia, odôvodnenie výberu súčiastok
- Dizajn DPS

3.1 Dizajn a konštrukčné riešenie plastových dielov

Správne vyhotovenie a dizajn dielov krabičky je pre fungovanie systému podľa špecifikácií nanajvýš dôležité. Tieto plastové diely musia byť extrémne odolné a zároveň presné. Musia elektroniku umiestnenú vo vnútri chrániť pred prachom, tekutinami a otrasmami ktoré sa vyskytujú počas bežnej prevádzky bezpilotného stoja aj počas havarijných situácií. Zároveň je nutné udržať váhu celého modulu na minimum z dôvodu nutnosti zachovania vyváženia bezpilotného stroja v prípade umiestnenia na krídlo/rameno.



Obr. 3.1: Plastové diely a elektronika v nich

3.1.1 Horný a spodný diel krabičky

Dizajn dielov krabičky je podrobený špecifickým požiadavkám prostredia, v ktorom sa bude nachádzať. Vrchný a spodný diel sú spojené pomocou oceľových skrutiek typu M3 o dĺžke 10mm. Je nutné, aby bola krabička tesná aj voči vode pod tlakom, nielen vode kvapkajúcej. Z toho dôvodu sme sa rozhodli utesniť všetky otvory pomocou 3D tlačených tesniacich krúžkov z materiálu TPU² - je relatívne jednoduchý na tlač a je vysoko ohybný. Tento materiál sa bežne používa na výrobu ohybných puzdier na smart telefóny.

V našom prípade bol použitý na výrobu troch tesnení - jednej tesniacej membrány ktorá zabraňuje vstupu neželaných častíc do priestoru piezoelektrického bzučiaka a tesniaceho valca ktorý vytvára tlak po obvode barometra a zabraňuje prieniku neželaných častíc do priestoru elektroniky. Tvar tohto tesnenia je prispôsobený tak, aby umožnil barometru prístup ku okolitému prostrediu. Samotný barometer je vode odolný.

Tretím tesnením je krúžok, resp. obdlžník po obvode spodného dielu krabičky. Tento prvk zabezpečuje vodotesný a prachotesný spoj medzi vrchným a spodným dielom krabičky. Toto tesnenie nie je samostatným prvkom, je integrované (natavené, "natlačené") do spodného dielu krabičky. Tento spôsob zaručuje jeho absolútne priľnutie k ABS¹ plastu z ktorého je samotná krabička bez použitia špeciálnych adhezív na TPU² plast.

²Termoplastický Polyuretán



Obr. 3.2: Plastové diely a elektronika v nich

Posledným dielom z TPU² plastu je tesniaci blok obaľujúci tzv. pogo piny slúžiace na komunikáciu s bezpilotným strojom. Tento atypický spôsob prepojenia bol zvolený z dôvodu jeho vysokej odolnosti oproti bežnému konektoru - v prípade tesnosti voči vode a prachu aj odolnosti proti nárazom a prudkým pohybom - v prípade nárazu dôjde k rozpojeniu kontaktu nedeštruktívne.

Špecifickým prvkom prvkom spodného dielu krabičky je zasadenie v mieste pogo kontaktov - tie nepresahujú za úroveň spodnej steny krabičky je teda malá šanca ich zachytenia priu manipulácii a poškodenia plošného spoja a kontaktov samotných. Vrchný diel obsahuje tiež mosadzné závitové termovložky typu M3. Pri dizajne vnútornej štruktúry krabičky bolo nutné myslieť na jej odolnosť voči zvýšenému tlaku zvonka (napr. prejdenie modlu autom) teda bola navrhnutá štruktúra 0.8mm hrubých výstužných stien ktorá je prispôsobená tvarom a umiestneniu jednotlivých komponentov na plošnom spoji - pri uzavretí krabičky dochádza ku "spojeniu" vrchného a spodného dielu bez medzere cez plošný spoj - pri zvýšenom tlaku zvonka nedochádza k ohýbaniu a praskaniu.



Obr. 3.3: Plastové diely a elektronika v nich

Posledným dielom modulu lietajúceho stroja je obruč držiaca modul na ramene stroja. Táto obruč tiež drží plošný spoj vytvárajúci kontakt s pogo pinmi zabezpečujúci priame prepojenie napájacieho napäťa a komunikácie s lietajúcim strojom. Výsledný dizajn krabičky je kompaktný, ľahký a extrémne odolný voči poveternostným vplyvom.

3.2 Schéma zapojenia, odôvodnenie výberu súčiastok

Pred výberom konkrétnych komponentov si musíme stanoviť čoho má byť "vysielač" modul schopný:

- Spoľahlivo komunikovať "so zemou" aj na dlhšie vzdialenosť
- Zbierať dátá o polohe v priestore pomocou viacerých senzorov
- Snímať okolitý tlak a teplotu
- Systém musí byť schopný samostatného fungovania (interné napájanie)
- Systém musí byť taktiež vysoko odolný a veľmi ľahký

Komunikácia medzi "zemou" a lietajúcim strojom je zabezpečená LoRa modulom E32-433T20S1[8] a rovnako ako v module vo vysielačke bol zvolený z dôvodov nízkej spotreby a výbornej vstupnej a výstupnej citlivosti a jeho vysielačieho výkonu. Zbieranie dát o polohe v priestore je vykonávané prostredníctvom GPS modulu Quectel L86 [12]. Tento modul bol zvolený z niekoľkých dôvodov - je extrémne malý, má vysokú citlivosť a integruje GNSS chipset s panelovou keramickou anténou v

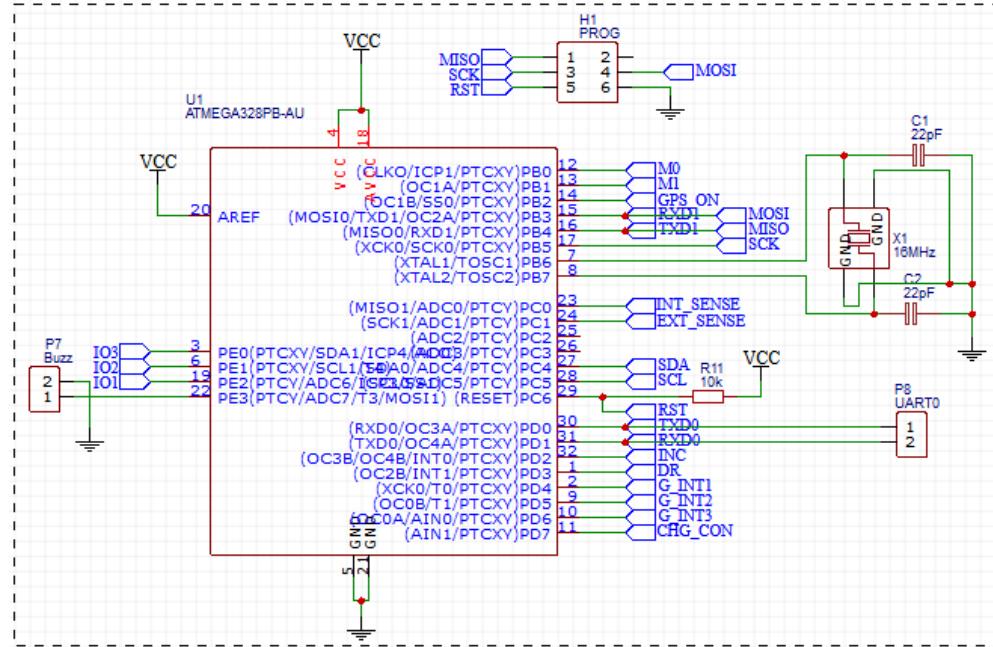
jednom “balení”. Dáta o barometrickom tlaku okolia, teda o vertikálnom umiestnení modulu zbiera altimeter HP206C[13] čínskej firmy HOPERF. Je kompaktný, vysoko presný (rozlíšenie až 0.1m) a odolný voči poveternostným vplyvom. Na zbieranie dát o akcelerácii, náklone a magnetickom náklone bol vybratý Inerciálny modul iNEMO LSM9DS1[6] od Švajčiarskej spoločnosti ST Microelectronics. Jeho kompaktné rozmery, vysoká miera integrácie, presnosti a možnosti interného škálovania meraných jednotiek bol vybraný ako jeden z hlavných článkov zberu dát pre modul lietajúceho stroja. Tento systém taktiež disponuje interným napájaním článkom Li-Ion o kapacite 1.5Wh s integrovanou elektronikou na správu a nabíjanie. Vysokú odolnosť modulu zabezpečuje okrem dizajnu krabičky aj vhodný návrh plošného spoja.

Pre sprehľadnenie si schému rozdelíme na 7 úsekov:

- Úsek mikrokontroléra
- Úsek bezdrôtovej komunikácie
- Úsek snímania pozície
- Úsek vstupov a ochrany
- Úsek správy interného akumulátora
- Úsek regulácie napäťia a
- Úsek filtrovania

3.2.1 Úsek mikrokontroléra

Hlavnou časťou tohto úseku je riadiaci mikrokontrolér Atmega328pb[2]:

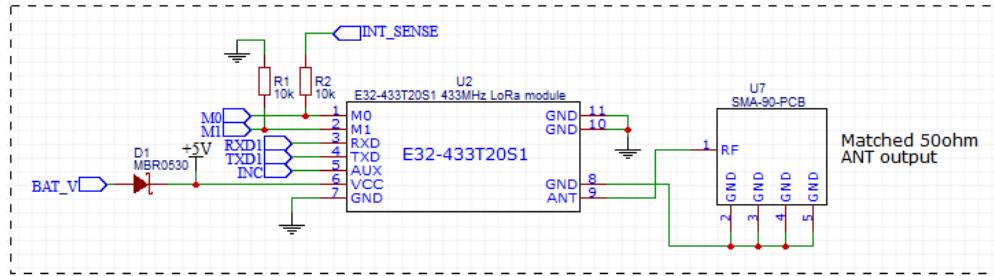


Obr. 3.4: úsek schémy s riadiacim mikrokon.

Tento integrovaný obvod Amerického výrobcu je všestranný a jednoduchý, založený na AVR architektúre. Jeho veľké množstvo periférií v podobe ADC a hardvérom akcelerovaných sériových zberníc spolu s veľmi jednoduchým “minimálnym zapojením” z neho robí ideálneho kandidáta pre tento modul. V tejto časti schémy môžeme taktiež vidieť externý oscilátor s frekvenciou $F_{osc} = 16\text{Mhz}$ a programovací konektor H1 ATMEL ISP 6P. Tento úsek je srdcom celého modulu - spracúva dátá zo senzorov, GPS a sériového modulu a tieto spracované dátá odosielá vo forme dvoch periodických paketov na “zem”.

3.2.2 Úsek bezdrôtovej komunikácie

V tomto úseku je dominantný LoRa RF modul E32-433T20S1[8]. Tu je okrem už spomenutých kľúčových vlastností tohto modulu - kom. čipu SX1278[2], vysokej vstupnej a výstupnej citlivosti, vysokého výkonu a dosahu v pásme 433mhz vďaka pokročilím algoritmom a dostatočným bezdrôtovým bitratom dôležitá možnosť implementovať WOR (Wake On Receive) - je teda možné vynechať zo zapojenia modulu lietajúceho stroja tlačítko ON/OFF a modul aktivovať a deaktivovať na diaľku v prípade potreby.

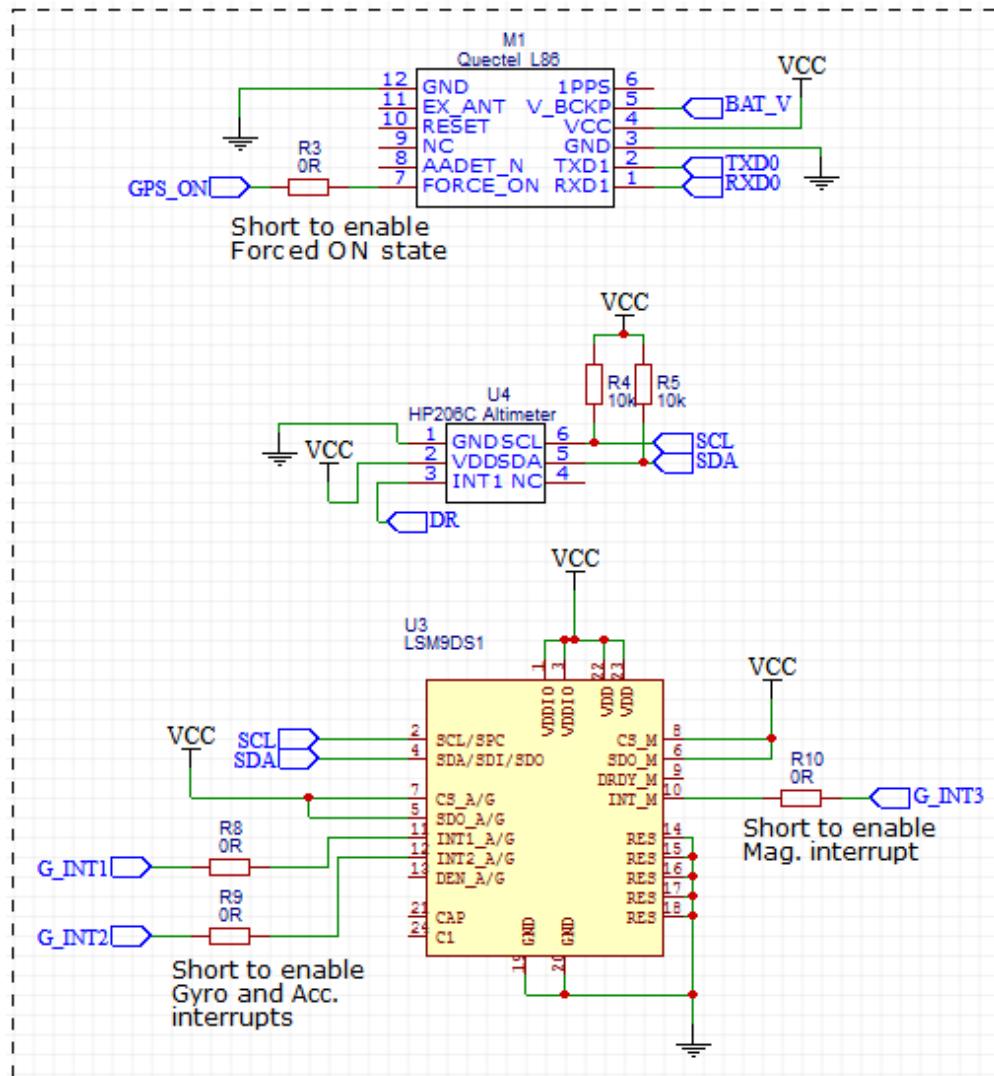


Obr. 3.5: úsek schémy RF modulom

Okrem bezdrôtového komunikačného modulu sa tu nachádza tiež SMA RF konektor na pripojenie antény.

3.2.3 Úsek snímania pozície

Jedna z najdôležitejších častí modulu lieatjúceho stroja je úsek snímania polohy:



Obr. 3.6: úsek snímania polohy

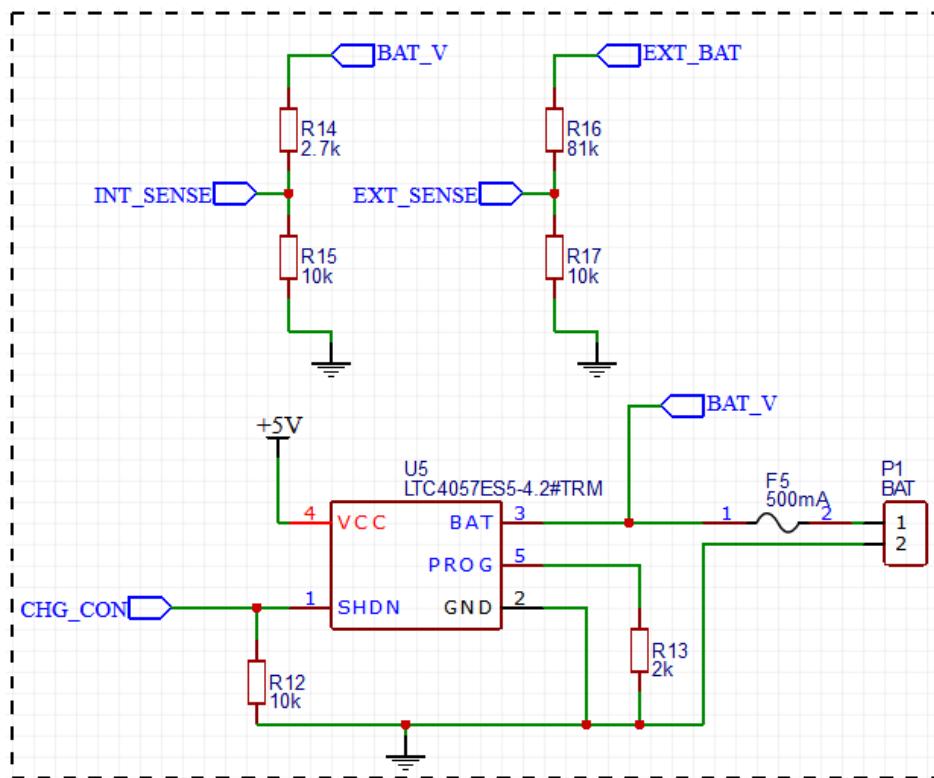
Tu sa nachádzajú dva senzory a GPS moudul Quectel L86[12]. Tento modul má niekoľko priaznivých vlastností ktoré ho predurčujú ako vhodného kandidáta pre náš projekt - modul L86 je vysoko kompaktný GPS modul konfigurácie POT (Patch On Top) s integrovanou anténou využívajúci moderný GNSS SOC MT3333[14] firmy MediaTek čo ho predurčuje na využitie v miniatúrnych zariadenia kde je vyžadovaná nízka váha a rozmery a vysoká pozičná presnosť. Tento GNSS modul taktiež umožňuje napájanie RTC z jedno-článkovej batérie čo znižuje vybíjací prúd integrovanej záložnej batérie modulu v režime spánku a zrýchluje získanie pozície pri opäťovnom zapnutí.

Dôležitou súčasťou modulu ktorá sa nachádza na tomto úseku schémy je inerciálny modul od firmy STMicroelectronics LSM9DS1[6]. Modul LSM9DS1 nieje obyčajný senzor polohy ale systém troch 3D digitálnych senzorov: lineárneho senzoru akcelerácie, senzoru náklonu a senzoru magnetického poľa. Tento modul umožňuje nastaviť škálovanie na všetkých senzoroch čo umožňuje čítať dané veličiny v maximálnom možnom rozlišení. Tiež podporuje programovateľné prerušenia všetkých senzorov a vďaka pokročilej internej logike sú výstupy precízne korigované a filtrované, teda výstupné dátá sú pripravené na použitie bez výkonovo náročného filtrovania v hlavnom mikrokontroléri.

Posledným aktívnym komponentom v tejto časti schémy je altimeter HP206C[13]. Tento modul bol zvolený z niekoľkých dôvodov: jeho integrovaný altimeter je vysoko presný ($\pm 5\text{cm}$), má malé rozmery a vďaka nepriepustnej membráne je vysoko odolný voči poveternostným vplyvom.

3.2.4 Úsek správy interného akumulátora

V tomto úseku sa nachádza elektronika slúžiaca na nabíjanie a čítanie napäťa int. akumulátora:



Obr. 3.7: úsek nabíjania int. akumulátora

Tu je prominentný integrovaný obvod LTC4057-4.2[15] spoločnosti Linear Technology.

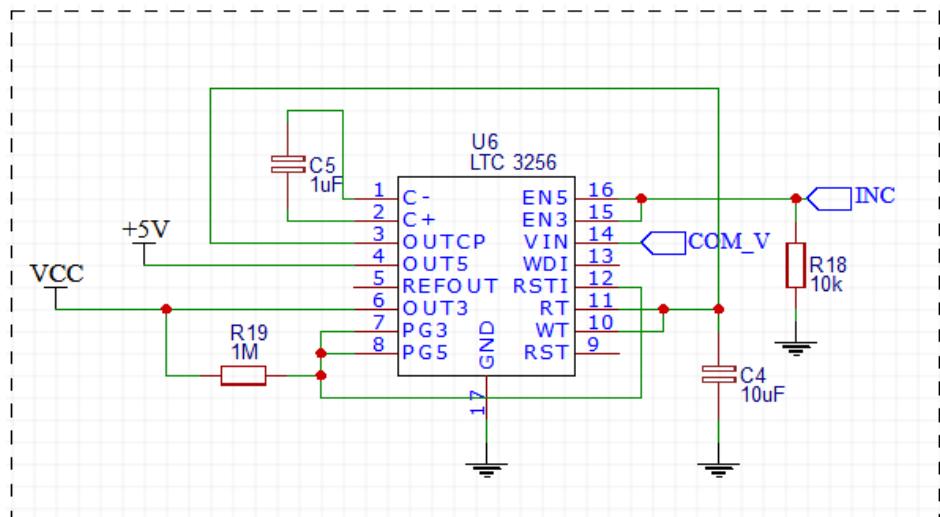
Je to jednoduchý ale veľmi schopný obvod slúžiaci na nabíjanie článkov technológie Li-Ion. Bol vybraný vďaka jeho jednoduchému zapojeniu, kompaktným rozmerom, širokému rozsahu vstupného napäťa a nastaviteľnému prúdu až do 800mA jedným rezistorom. Samozrejmostou je poistka chrániaca obvod v prípade skratu Li-Ion článku.

Tiež sa tu nachádzajú dva napäťové deliče umožňujúce čítať napätie externého aj interného akumulátora.

3.2.5 Úsek regulácie napäťa

V tomto úseku je riešený problém nutnosti dvoch napájacích vetiev (3.3V a 5V) a ich regulácie zo značne vyššieho napäťa (až 25V). Je nutné, aby naše regulačné zapojenie pozostávalo z malého počtu komponentov a malo nízke výstupné zvlnenie. Ideálnym zapojením by bol pulzný regulátor s lineárny výstupným regulátorom. Presne toto

zapojenie do seba integruje obvod od Linear Technology LTC3256[16]:



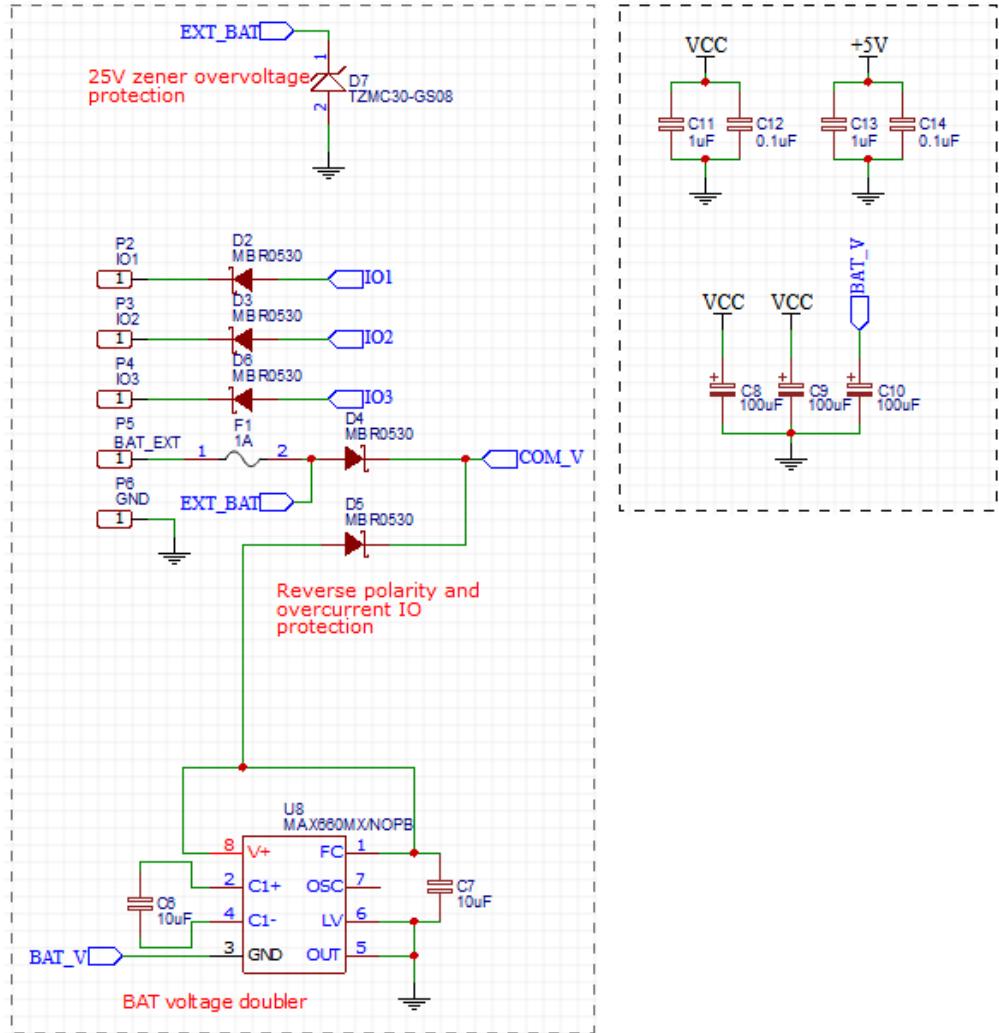
Obr. 3.8: úsek regulácie napäťia

Tento integrovaný obvod obsahuje vstupný pulzný DC/DC regulátor poskytujúci 5V výstup ktorý je dostupný na 5V vetve a tiež ďalej regulovaný na 3.3V. Toto zapojenie umožňuje vysoké vstupné napätie zároveň s nízkym stratovým teplom. Výstupné prúdy obvodu sú 100mA na 5V vetve a 250mA na vetve s napäťím 3.3V čo plne postačuje na beh modulu bezpilotného stroja. Ďalšou nutnou vlastnosťou je možnosť obvodu jednoducho zobudiť a uspať externým mikrokontrolérom pričom jeho spánkový prúd je len 0.5 μ A.

3.2.6 Úsek vstupov / výstupov a úsek filtrovania

Úsek filtrovania obsahuje dva druhy zapojení kondenzátorov: oddeľovacie zabezpečujúce odstránenie šumu vzniknutého v regulátore napäťia a kondenzátory vyššej kapacity zabezpečujúce stabilitu v prípade výkyvov prúdov na danej napäťovej vetve (RF modul začne vysielať, interný akumulátor sa začne nabíjať)

V úseku vstupov / výstupov je prominentný integrovaný obvod MAX660MX[17] zabezpečujúci jednoduchým zdvojením vstupného napäťia vstup do už spomenutého regulátora napäťia. Tento úsek schémy ďalej zabezpečuje ochranu pred prekročením maximálneho vstupného napäťia (25V), diódy zabezpečujúce uzavorenie vybíjania interného akumulátora v prípade pripojenia externého napäťia, obsahuje Polymérovú poistku chrániacu celé zapojenie a diódy chrániace výstupy pred pripojením externého napäťia.

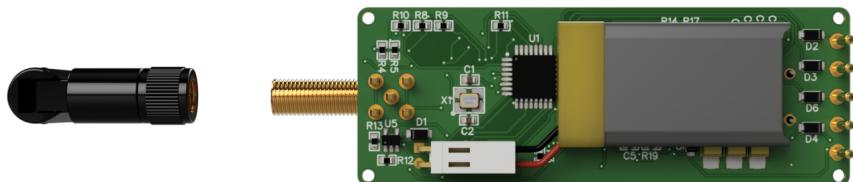


Obr. 3.9: úsek filtrovania

Celú schému je možné nájsť v prílohách.

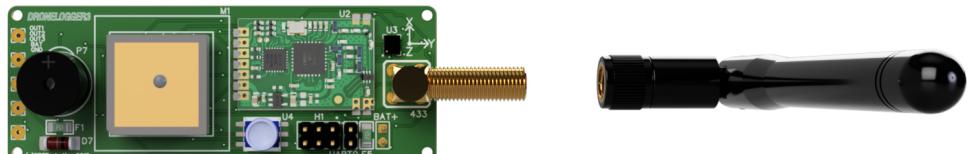
3.3 Dizajn DPS

Je nutné, aby mal plošný spoj vhodné rozmery na bezproblémové uchytenie na krídle lietajúceho stroja. Taktiež je nutné myslieť na konektor na anténu a "pogo-piny" na komunikáciu s externými zariadeniami a napájanie samotného modulu.



Obr. 3.10: pohľad "zospodu"

Na spodnej časti plošného spoja môžeme vidieť hlavný riadiaci mikrokontrolér, integrovaný obvod zabezpečujúci nabíjanie interného akumulátora, diódy chrániace vstupy a výstupy a samotný interný akumulátor. Tu je nutné brať do úvahy interný akumulátor a jeho pozíciu a taktiež "pogo-piny" slúžiace na komunikáciu a napájanie.



Obr. 3.11: pohľad "zhora"

Pri pohľade zhora môžeme vidieť GPS modul, bzučiak, bezdrôtový sériový modul, inerciálny modul a altimeter. Tu je nutné správne umiestniť bzučiak a konektor typu SMA na externú anténu.

Pri návrhu celého plošného spoja bolo nutné myslieť aj na výrobu krabičky, tesnení a praktického umiestnenia na bezpilotnom stroji.

Kapitola 4

Fungovanie systému

V tejto kapitole si zhrnieme spoločné fungovanie jednotlivých modulov systému, ich pripojenie k jednotlivému vybaveniu pilota a sledovaného bezpilotného stroja.

4.1 Modul RC súpravy

Začnime od pilota. Ten má v rukách vysielačku ktorou ovláda bezpilotný stroj. Táto RC súprava má v zadnej časti priestor na univerzálne moduly typu JR. Do tohto priestoru je vložený modul RC súpravy. Tento modul je z vysielačky napájaný teda je uvedený do chodu pri jej zapnutí.



Obr. 4.1: Modul vo vysielačke

Je taktiež vyžadované externé napájanie z dôvodu zachovania kompatibility so

všetkými RC súpravami - v závislosti od zvoleného zobrazovacieho panelu môže dôjsť k prekročeniu max. prúdu pre externý modul a dôjde k jeho vypnutiu. Z tohto dôvodu je nutné pripojiť externý akumulátor s napäťom v rozsahu 6 - 12V. K modulu je cez SMA konektor pripojená externá anténa - jej smerosť a polarizáciu užívateľ zvolí v závislosti od jeho konkrétnych požiadaviek. Možnosť pripojiť externú anténu robí systém vysoko flexibilný. Hneď vedľa SMA konektora sa nachádza USB konektor typu A ktorý poskytuje sériové rozhranie na pripojenie zobrazovacieho panelu. USB konektor bol zvolený z dôvodu vysokej flexibility - užívateľ vyberá dĺžku kábla prepojujúceho panel s modulom podľa potreby

4.2 Modul Bezpilotného stroja

Iked' je modul schopný plne autonómneho chodu z interného napájacieho zdroja, je doporučené mať pripojené hlavné napájacie napäťie sledovaného bezpilotného stroja z niekoľkých dôvodov:

- Kapacita interného akumulátora je relatívne nízka a jedná sa skôr o záložný zdroj ako o akumulátor na trvalé napájanie počas bežného chodu
- Pripojenie externého napájania umožňuje toto napäťie sledovať a upozorniť pilota v prípade vybitia pripojeného externého akumulátora.

Ked'že modul bezpilotného stroja nemá žiadne "tlačítko" na vypnutie či zapnutie je táto funkcia implementovaná pomocou WOR funkcie LoRa modulov - po zapnutí modulu RC súpravy a odoslaní náhodných dát je po ich prijatí protiľahlým modulom, ktorý je napájaný interným akumulátorom a udržiavaný v režime spánku aktivuje svoj WOR výstup a tým prebudí interný regulátor čo má za následok prebudenie zvyšnej elektroniky a uvedenie celého systému do chodu.



Obr. 4.2: zapnutý zobrazovací panel

Po uvedení systému do chodu sa zobrazujú nasledovné dátá na zobr. paneli:

- GPS súradnice domovského miesta (miesta prvého zapnutia modulu v danom napájacom cykle) a GPS súradnice bodu, na ktorom sa modul práve nachádza.
- GPS čas a dátum, indikátor prichádzajúcich dát a indikátory úrovne nabitia akumulátorov.
- Štyri digitálne prístroje: Výškomer zobrazujúci nadmorskú výšku v metroch, rýchlomer zobrazujúci (pozemnú) rýchlosť v kilometroch za hodinu, kompas ukazujúci pozíciu bezpilotného stroja v danom momente a ukazovateľ smeru "domov" a umelý horizont

Závery práce

Počas našich dlhoročných skúseností s bezpilotnými strojmi a RC modelmi vysvitla potreba oddeleného, absolútne autonómneho navigačného a záznamového systému disponujúceho vysokou versatilitou, spoľahlivosťou a nízkou váhou, rozmermi a cenou.

Výsledkom niekoľkoročného vývoja systému spĺňajúceho horeuvedené kritériá je DroneLogger3 - kompaktný a versatilný navigačný systém spĺňajúci požiadavky ako začiatočníkov vyžadujúcich jednoduchosť pri inštalácii a používaní tak aj pokročilých pilotov očakávajúcich absolútну spoľahlivosť a presnosť.

Výsledkom tejto práce je dokument po hardvérovej stránke popisujúci fungovanie systému DroneLogger3 - ako oba moduly vzájomne aj samostatne fungujú a zdôvodnenie výberu nielen elektronických súčiastok počas ich vývoja, pôvod systému - prečo sa vývoj uberal týmto smerom a z čoho sme počas vývoja vychádzali a výsledný vzhľad a užívateľská prívetivosť systému - kompatibilita so širokým spektrom RC súprav a bezpilotných strojov.

Resumé

In this thesis we have described the needs comming from our years long experience with unmanned aircraft and RC models on which the developement and feature set of this assistnace and datalogging system is based on.

We have also described the developement of the system from hardware perspective - selected materials, manufacturing processes, electrical components and design choices leading to the final feature set and user experience of the DroneLogger3.

To furhter explain the developement path and hardware choices leading to a polished and fully functional assistanc and datalogging system ready for end user usage we have also looked into the previous versions of the system and its hardware.

Zoznam použitej literatúry

1. BBC. *Heathrow airport: Drone sighting halts departures*. Dostupné tiež z: <https://www.bbc.com/news/uk-46803713>.
2. ILITEK. *ILI9341 Datasheet*. Dostupné tiež z: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ILI9341.pdf>.
3. ATMEL. *Atmega328 Datasheet*. Dostupné tiež z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>.
4. NXP. *MK20DX256VLH7 Datasheet*. Dostupné tiež z: http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/data_sheet/K20P64M72SF1.pdf.
5. NEXTION. *NX4827T043 Datasheet*. Dostupné tiež z: https://nextion.itead.cc/resources/datasheets/nx4827t043_011/.
6. ST. *STM32 MCUs*. Dostupné tiež z: <https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>.
7. INTEL. *ALTERA MAX II Datasheet*. Dostupné tiež z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/programmable/cpld/max-ii.html>.
8. EBYTE. *E32 Series Datasheet*. Dostupné tiež z: <http://www.ebyte.com/en/downpdf.aspx?id=229>.
9. SEMTECH. *SX1278 Datasheet*. Dostupné tiež z: https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3179/sx1276_77_78_79.pdf.
10. EBYTE. *Test vzdialenosťi*. Dostupné tiež z: <http://www.ebyte.com/en/product-view-news.aspx?id=229>.
11. MONOLITHIC. *AMS1117 Datasheet*. Dostupné tiež z: <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>.
12. QUECTEL. *Quectel L86 Datasheet*. Dostupné tiež z: https://www.quectel.com/UploadFile/Product/Quectel_L86_GNSS_Specification_V1.0.pdf.

13. HOPERF. *HP206C Datasheet*. Dostupné tiež z: <https://cdn.sos.sk/productdata/d8/cc/27577aa5/hp206c.pdf>.
14. MEDIATEK. *MT3333 Datasheet*. Dostupné tiež z: <https://labs.mediatek.com/en/chipset/MT3333>.
15. TECHNOLOGY, Linear. *LTC4057-4.2 Datasheet*. Dostupné tiež z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/4057f.pdf>.
16. TECHNOLOGY, Linear. *LTC3256 Datasheet*. Dostupné tiež z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/3256fb.pdf>.
17. INSTRUMENTS, Texas. *MAX660 Datasheet*. Dostupné tiež z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max660.pdf>.

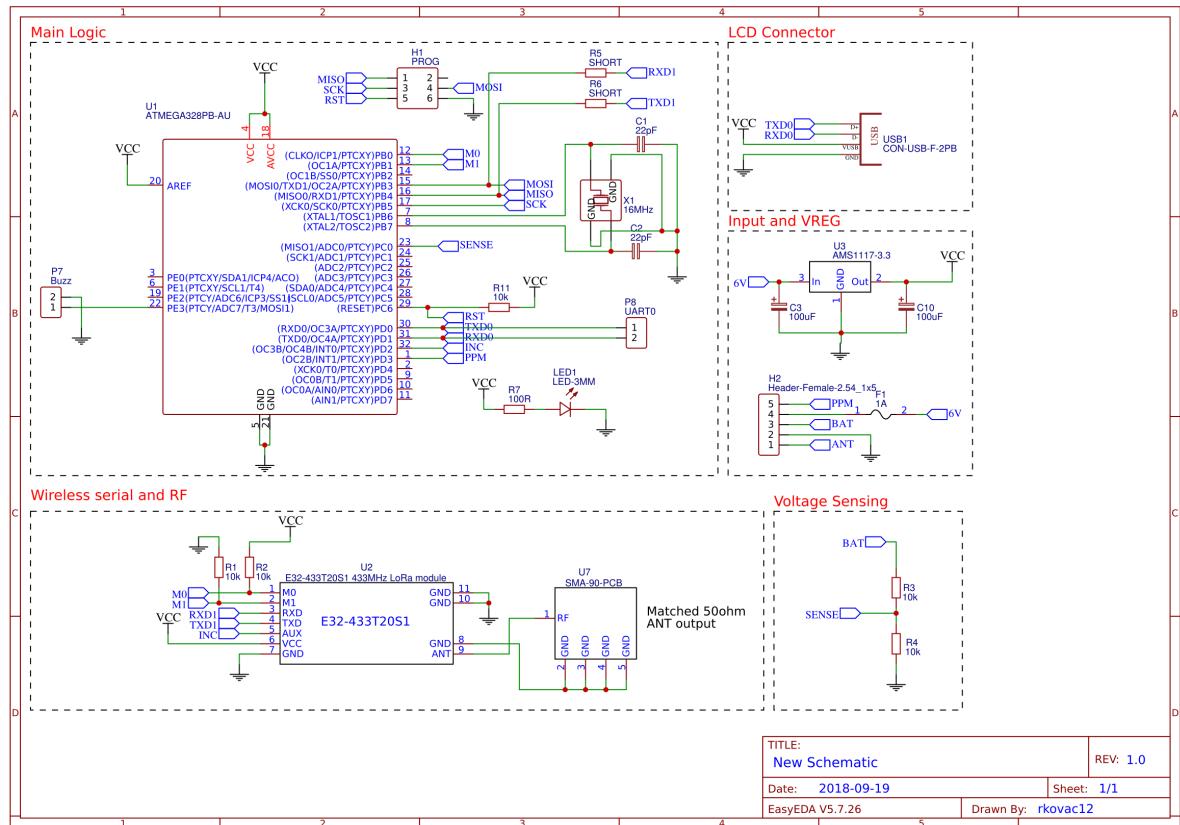
Prílohy

Zoznam príloh:

Príloha A: Schéma modulu RC súpravy

Príloha B: Schéma modulu bezpilotného stroja

Príloha A



Príloha B

