

UAV LIETADLO FYZICKÁ REALIZÁCIA

Róbert Schochmann, Jakub Pilka, Martin Suchý

robo@schochmann.com

www.animatechnika.com

Abstrakt

V našej práci sa venujeme návrhu a konštrukcii bezpilotného lietadla UAV. Cieľom tejto práce je objasnenie problematiky fyzickej vrstvy, čiže diaľkové riadenie lietadla, príjem, spracovanie, filtrovanie a odoslanie údajov zo snímačov z lietadla v reálnom čase.

1. Úvod

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) je rádiovo alebo automaticky pilotované lietadlo, ktoré je vybavené kamerami, prenosovými rádiovými systémami, rôznymi senzormi ako sú akcelometre, gyroskopy, tlakové čidlá, teplotné čidlá, GPS prijímačom atď. Sú využívané v prieskume a vojenských misiách a predpokladá sa aj ich budúce využitie v dopravnom odvetí. V tejto práci popisujeme nami zvolenú architektúru riadiaceho systému, výberu senzorov a technickú realizáciu obvodu.

2. Konštrukcia lietadla

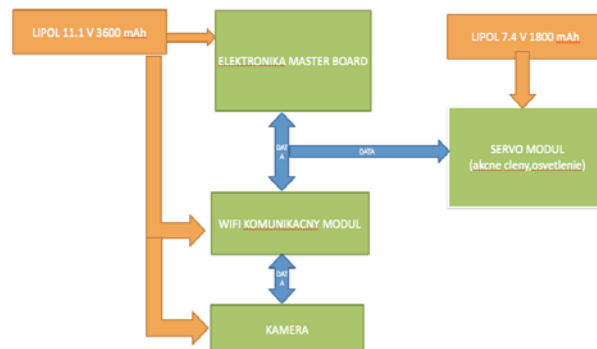
Kostra lietadla je skonštruovaná z balzového dreva a pokrytá nažehľovacou fóliou, ktorá sa pri nažehlení zmrští a balzovú konštrukciu niekoľkonásobne spevní a urobí ju odolnejšou. Je to obvyklá metóda, využívaná v leteckom RC modelárstve. Dĺžka lietadla a rozpätie jeho krídel majú zhodnú dĺžku ktorá dosahuje dva metre pričom celková konštrukcia je rozkladateľná na dve časti - trup, krídla. Pre pohon slúži dvojtaktný spaľovací motor so žhavením, výkonu 2,5 konskej sily, spaľujúci zmes metylalkoholu, oleja a nitromethanu. Pohotovostná hmotnosť lietadla je 4500g a je schopné niesť náklad o hmotnosti 750g.

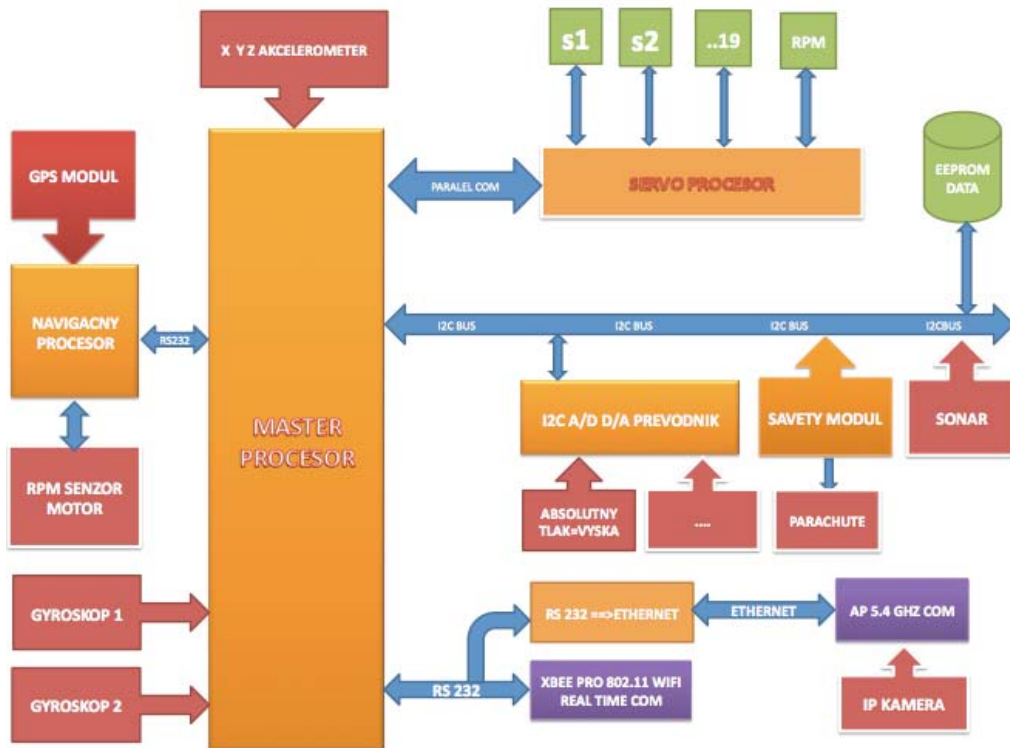


3. Elektronika lietadla a riadiacej stanice

Lietadlo je napájané z dvoch batérií typu Li-Pol (pre servomotory je vhodné galvanicky oddelené napájanie).

Elektronika lietadla pozostáva z hlavného riadiaceho modulu, na ktorý bude možné postupne pripájať pomocou I2C zbernice ďalšie slavy (vedľajšie) moduly. Hlavný riadiaci modul pozostáva z 8-bitového PIC procesora PIC16F877, ktorý je taktovaný na 20 MHz, od firmy Microchip.



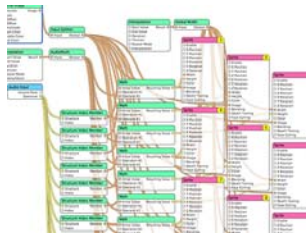


Na hlavnej riadiacej doske sa ďalej nachádza stabilizátor napätia na 5V pre TTL logiku a 3,3V pre komunikačný modul Wi-Fi. Na riadiaci modul je pripojený trojosý accelerometer s analogovým výstupom. ďalšie slave moduly ako napr. GPS modul, tlakové čidlo, a ultrazvukový sonar na meranie výšky pri vzlete a pristávaní, ktorý má dosah cca 10m. Výšku získame taktiež z tlakového čidla a GPS modulu. Všetky údaje sú prenášané pomocou Wi-Fi modulu XBee-pro, ktorý využíva normu 802.11g. Pre spoľahlivosť má možnosť komunikovať pomocou viacerých kanálov. XBee modul komunikuje pomocou linky RS-232 s riadiacim modulom a počítačom. Lietadlo je ešte vybavené digitálnou kamerou, ktorej výstup je odosielaný do riadiacej stanice 5 wattovým vysielačom o frekvencii 2,4GHz.

Riadiacia stanica pozostáva z notebooku, rádiového XBee modulu, joysticku, 2,4GHz prijímača pre kameru a obslužného softvéru.



4. Obslužný software riadiacej stanice a lietadla



Obslužný softvér sme sa rozhodli naprogramovať v prostredí Quartz Composer, ktorý pracuje na systéme mackintosh.

Hlavné výhody QC a systému mackintosh, sú vysoká stabilita systému a výborne využívaný výkon počítača, využívanie grafickej karty, programovanie podobné ako v simulinku, možnosť doplnenia o ďalšie bloky programovane v C#, C++.

Obslužný softvér slúži na informovanie pilota o všetkých dôležitých údajoch, ako napr. zrýchlenie v osiach X,Y,Z. Na obrazovke je obraz z kamery lietadla. Pomocou joysticku je možné pilotovať lietadlo a ovládať všetky akčné členy na strane lietadla. Software bude vybavený syntézou reči, ktorá informuje o hrozbách a dôležitých informáciách (nízka výška, málo paliva atď.).

Riadiaci softvér riadiacej jednotky je písaný v jazyku C a následne kompilovaný do assembleru pre PIC procesor. Softvér pozostáva z niekoľkých funkcií. Funkcie slúžia na komunikáciu s jednotlivými servo motorčkami a senzormi pripojenými k riadiacej jednotke. Ich výstupom sú rôzne hodnoty ako napr. výška zo sonaru v cm. Všetky vstupy sú následne po spracovaní použité pre autopilot, ale vždy sú aj zároveň odoslané na riadiacu stanicu.

5. Komunikácia

Komunikácia medzi riadiacim strediskom a lietadlom prebieha sériovo cez Wi-Fi moduly XBee, ktorého maximálna rýchlosť je 115 000 bps. Tieto moduly sme sa rozhodli použiť pre ich možnosť využitia v aplikáciách reálneho času.

Údaje z joysticku sú po jeho kalibrácii prenesené cez USB port. Tieto údaje idú vo forme paketov, každý sa začína synchronizačným znakom '\$' a končí znakom '@'. Medzi týmito znakmi sa nachádzajú 4 hodnoty natočenia servo motorčekov v lietadle, Roll, Pitch, Yaw, Throttle (natočenie osí X, Y, Z a ovládanie rýchlosti) a ďalšie údaje riadenia. Prijem údajov vyvolá prerušenie hlavnej slučky programu hlavného modulu v lietadle. Tento kontroluje, či prvý prijatý znak je '\$' a spracuje zvyšné údaje prijatého paketu.

Pokiaľ sa na začiatku paketu nachádzajú znaky '%%', odošlú sa údaje zo senzorov v lietadle do riadiaceho strediska na spracovanie a zobrazenie na obrazovke počítača.

6. Softvér modulu autopilota

Po získaní údajov z GPS modulu a následnom prefiltrovaní dostaneme tri najdôležitejšie údaje:

- zemepisná šírka
- zemepisná dĺžka
- skutočný kurz v stupňoch

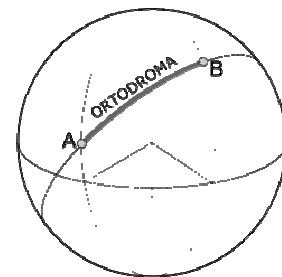
Skutočný kurz si musíme vypočítať pomocou nasledovnej rovnice:

$$c = \arccos \left(\frac{\sin(\text{Lat}2) - \sin(\text{Lat}1) \times \cos(d)}{\cos(\text{Lat}1) \times \sin(d)} \right)$$

Údaje "Lat2" a "Lat1" získame z GPS modulu a "d" je hodnota **Ortodroma**. Je to najkratšia spojnica dvoch bodov na guľovej poche v našom prípade zakryvenie zeme. Tvorí ju vždy kratší oblúk hlavnej kružnice.

Vzorec pre výpočet ortodomy, ak máme súradnice krajných bodov $[\varphi_1; \lambda_1]$ a $[\varphi_2; \lambda_2]$

$$\sigma = \arccos(\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1))$$

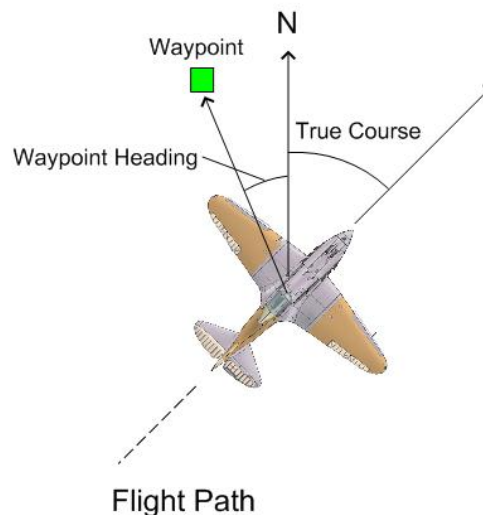
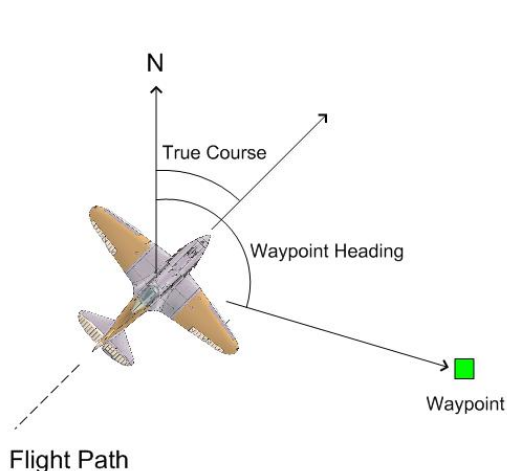


Z GPS údajov získame *-aircraft heading*. *Waypoint heading* je zadaná konštanta ktorá obsahuje informáciu o žiadanom smere letu. Letová výchyľka *error* sa vypočíta ako *waypointHeading - trueHeading*.

`if(error >= 180) error = error - 360;`

`if(error <= -180) error = 360 + error;`

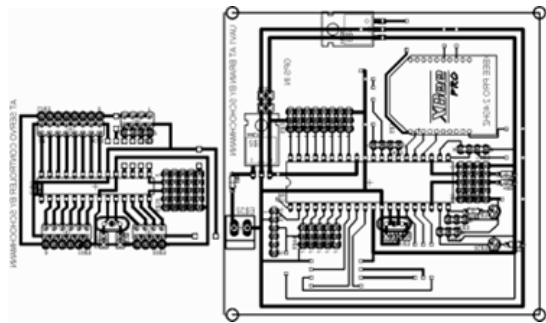
Poloha serva = stred - error;



7. Fyzická realizácia

Elektronické zapojenie sme sa rozhodli realizovať na plošnej doske s možnosťou čo najväčšieho množstva pripojených akčných členov a senzorov. Hlavná doska disponuje možnosťou pripojiť na každý port vstupné alebo výstupné zariadenie. Na konektoroch sa tiež nachádza napájanie stabilizovaného napätia 5V. V dolnej časti je možné pripojiť ďalšie moduly.

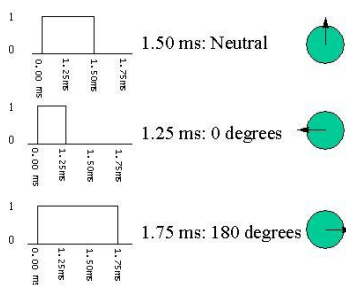
Táto architektúra vytvára možnosť pripojiť ľubovoľný počet zariadení rôznych druhov ako sú ďalšie akčné členy alebo senzory a pod. I2C konektory disponujú napájaním 5V stabilizovaného napätia. Na hlavnej doske sa nachádza stabilizátor napätia 7805 elektroniku a stabilizátor napätia 3,3V pre komunikačný modul XBee. Prepojovanie ďalších modulov je zabezpečené 10 žilovým dátovým vodičom, ktorý má na oboch koncoch konektor s bezpečnostným zámkom, proti samovoľnému vypadnutiu konektora, pri veľkých vibráciách od motora, a a pristávacích manévroch.



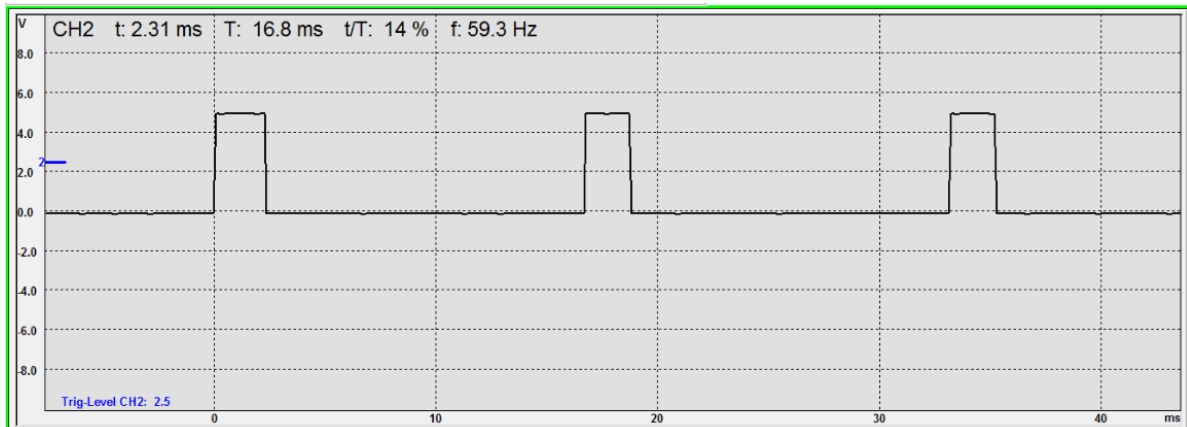
pre

8. Modul servo riadenia

Servo radič, bol prvotne pripojený k master modulu pomocou I2C zbernice, nakoľko sa nám táto možnosť komunikácie neosvedčila ako dostatočne spoľahlivá tak sme vyrobili ďalší servo radič, ktorý je pripojený pomocou synchronnej paralelnej linky. Modul pozostáva zo vstupného dátového konektora so zámkom (ochrana proti vibráciám), svorkovnice pre napájanie modulu a svorkovnice pre napájanie servomotorov. Napájacie napätie sme sa rozhodli použiť oddelene pre motory a zvlášť pre elektroniku, z dôvodu rušenia. Na doske sa nachádza aj stabilizátor napätia a odrušovacie kondenzátory. Modul taktiež disponuje s možnosťou ICSP programovania (zmena programu jednočipového počítača priamo v aplikácii, bez nutnosti demontáže).



Softvér PIC procesora sa skladá z dvoch hlavných častí, a to sú komunikácia a vytváranie šírkových impulzov PWM, pulse width modulation, ktorými sú nastavované servomotory. Servomotory sú nastavované pomocou šírky impulzu, napríklad 1.5ms je 90°. a 1.75ms je 180°. Po ponastavovaní všetkých signálov pre motory sa vyšle signál do hlavného procesora ktorý slúži ako žiadosť o nové dáta.



Nameraný signál z riadiacej jednotky servomotorov. Servá sa nachádzali v krajnej polohe, obnovovacia frekvencia bola 60Hz.

9. Modul navigácie

UAV lietadlo potrebuje pre určenie svojej polohy a statusu údaje zo senzorov ako sú tlak(určenie výšky), GPS, RPM teplota atd. Všetky tieto dáta sú získavané pomocou viacerých meraní a vytváraní priemerných hodnôt, čo často berie dosť veľký strojový čas a pamäť. Z tohoto dôvodu sme sa rozhodli použiť takýto oddelený nezávislý modul, ktorý pripraví dáta pre hlavný procesor, čím mu ušetrí strojový čas a pamäť.



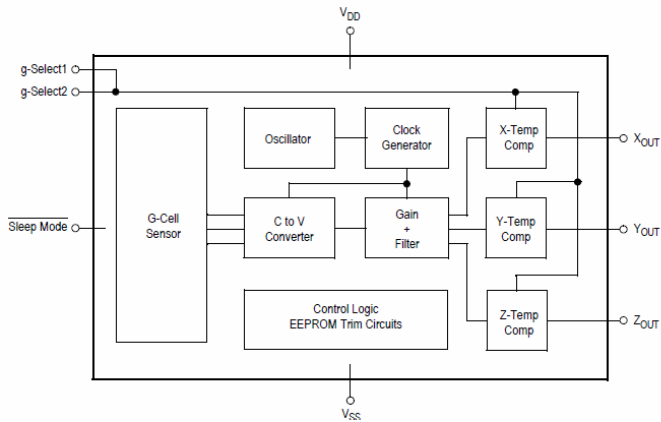
GPS MODUL. VÝSTUP RS 232.

Na navigačný modul je ďalej pripojený gps modul pomocou sériovej linky, rýchlosťou 4800 bps.

Obnovovacia frekvencia dát na gps je 1Hz. GPS posiela škálu komunikačných protokolov, s ktorých vyberáme práve jeden a to protokol GPGGA. Každý nový riadok začína znakom“ \$” a oddeľovacím znakom je “,” takýmto spôsobom celkom načítame 15 údajov, a to nasledovne:

```
$GPGGA,hhmmss.ss,llll.ll,a,yyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx*hh
1   = Svetový čas
2   = Šírka
3   = Sever? Juh?
4   = Dĺžka
5   = Východ? Západ?
6   = GPS quality indikátor kvality
7   = Počet satelitov.
8   = Horizontálne rozostúpenie
9   = Výška nad morom (geoid)
10  = jednotka je meter?
11  = výška geoid
12  = Meters
13  = doba poslednej aktualizácie
14  = ID#
15  = Checksum
```

10. Akcelerometre a Gyroskopy



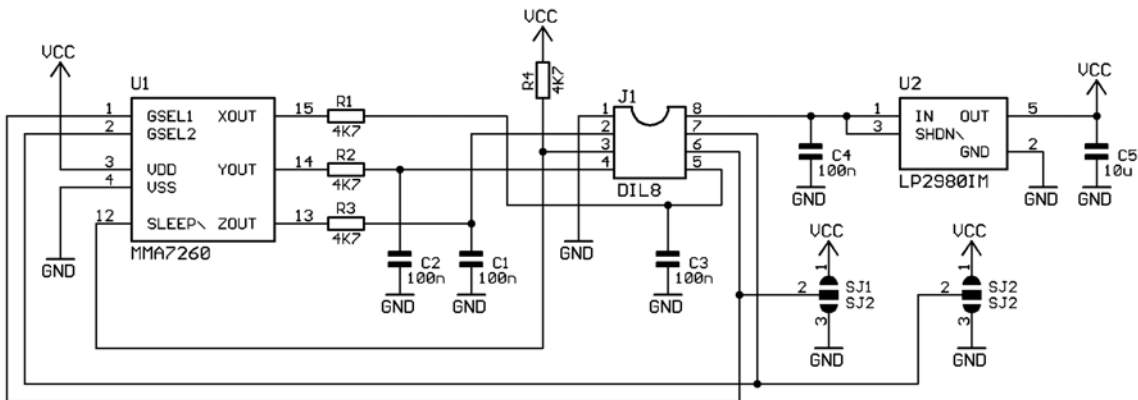
Tabuľka nastavovania rozsahu merania zrýchlenia.

g-Select2	g-Select1	g-Range	Sensitivity
0	0	1.5g	800 mV/g
0	1	2g	600 mV/g
1	0	4g	300 mV/g
1	1	6g	200 mV/g

Bloková schéma zapojenia akcelerometra.

Z pomeru gravitačného zrýchlenia sa dá zistiť náklon robota a ďalšou integráciou X Y Z dostaneme rýchlosť a ďalšou integráciou polohu.

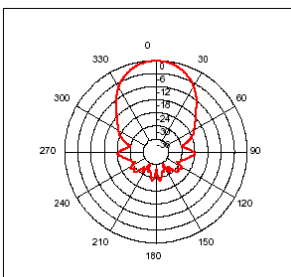
Schéma zapojenia MMA7260 akcelerometra spolu s C filtrami. a stabilizáciou napätia.



10. Ultrazvukový sonar



Lietadlo disponuje aj so sonarom v podvozku, pretože kamera je orientovaná na hornej časti lietadla na krídlach nie je vidieť na obraze vždy pristávaciu dráhu a nedá sa presne odhadnúť výška. Sonar má dosah cca 16 metrov a refresh je asi každých 70 ms. Číže frekvencia je asi 14Hz, čo pri klesaní meter a menej za sekundu je dostatočná presnosť. Sonar je pripojený pomocou I2C zbernice.

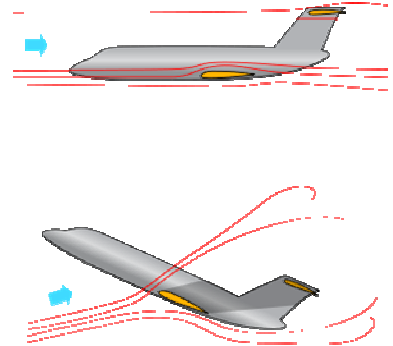


Vyžarovacia charakteristika Sonaru

11. Zabezpečenie lietadla pri zlyhaní komunikácie.

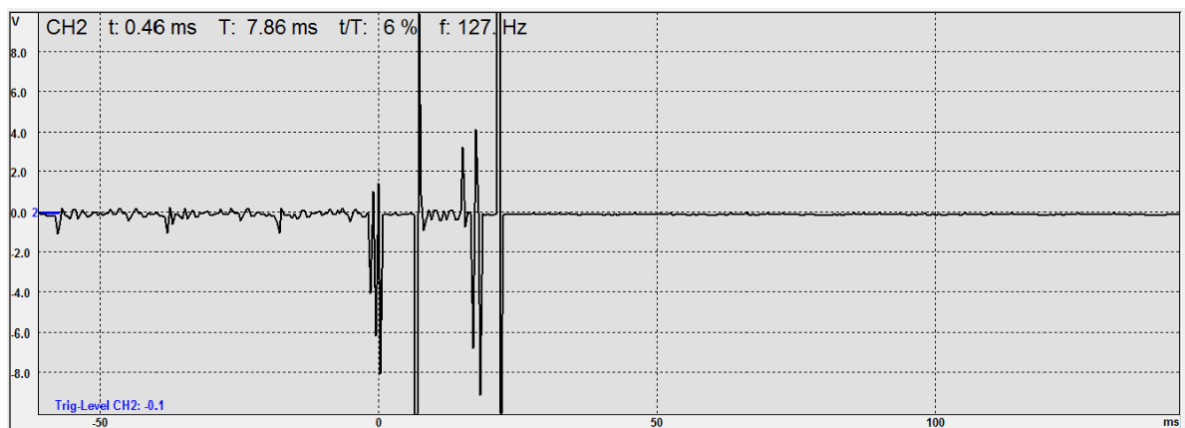
V prípade výpadku komunikácie pri manuálnom riadení, by sa lietadlo mohlo stať v niekoľkých okamžikoch nebezpečným objektom, a hrozila by možnosť aj úplnej straty lietadla. Túto problematiku sme sa rozhodli riešiť softvérovou, v hlavnom procesore. V procesore je pravidelne cyklicky kontrolovaný príjem dát, v prípade výpadku dát na niekoľko sekúnd cca 2-3s sa vyvolá krízový stav lietadla a vykonajú sa následne opatrenia, a to: stiahnutie otáčok motora na minimum (voľnobeh u benzínového motora). Výšková klapka na maximálne stúpanie a krídielka a chvostová klapka maximálne do krajnej zhodnej polohy. Tieto predošle úkony spôsobia STALL režim lietadla, riadená havária, lietadlo havaruje pri podstatne nižšej rýchlosti a priamo v mieste spôsobenia problému, nemalo by uletieť z bezpečnej zóny. Havaruje krúživým pohybom. Následujúci obrázok ilustruje STALL režim, pri príliš veľkom uhle stúpania a malej rýchlosti lietadlo stráca vztlak a postupne začne klesať.

V prípade obnovenia komunikácie môže operátor prevziať riadenie, okamžite sa zruší riadená havária vypne sa STALL autopilot.

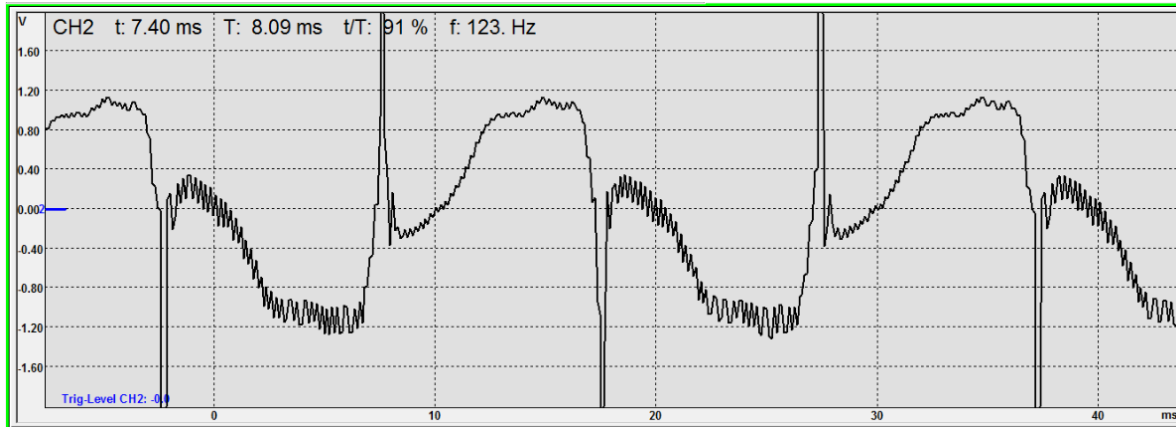


12. Problémy pri realizácii

Pri realizácii našich plánov sme sa stretli s množstvom nepredvídaných problémov. Najväčším problémom boli rušiacie signály, ktoré sa modulovali na vodičoch I2C zbernice. Tieto signály boli dostatočne silné aby nielen vniesli chybu do prenosu údajov, ale aj aby úplne zablokovali komunikáciu medzi master a slave modulmi. Ako primárny zdroj týchto signálov sa nám podarilo identifikovať neónové trubice použité ako osvetlenie v miestnosti a celkové elektromagnetické rušenie. Keďže sa nám tento problém nepodaril hardverovo ani softvérovou úplne vyriešiť, rozhodli sme sa zameniť I2C zbernicu za synchronnú paralelnú komunikáciu, do ktorej implementujeme samoopravný kód.



Obrázok, meranie z osciloskopu nezatienenej lokality počas štartovania neónových svietidiel, napätie špička špička presiahlo 18 V, vzdialenosť cca 1,5m.



Nasuperponovanie rušivého signálu na sinusový signál.

V grafoch je pozorovateľné nasuperponovanie rušivého signálu z neónových trubíc a podobný problém môže vznikáť aj počas letu lietadla, nakoľko pár desiatok metrov nad zemou v blízkosti miest, dedín je elektromagnetický šum a nie je zanedbateľné samotné rušenie elektromotorov priamo v lietadle, treba myslieť aj na elektrostatický polom, ktoré sa hromadí počas letu, vďaka treniu vzduchu o lietadlo. Tento problém sme sa rozhodli riešiť aj zatienením lietadla pomocou alumíniovej fólie a pripojením na najnižší potenciál, čo je u nás záporný pól akumulátora.

13. Záver

Naša zvolená architektúra komunikácie, senzorky, akčných členov, rozhodovania a monitorovania spĺňa kritéria reálneho času pre riadenie lietadla. Aby sme stíhali robiť všetky merania a výpočty v reálnom čase s 8 bitovými procesormi 20 Mhz tak sme boli nútení rozdeliť jednotlivé úlohy na elementárnejšie bloky, každý blok vykonáva jeden procesor. Paralizovaním procesov sme dosiahli oveľa väčšiu obnovovaciu frekvenciu, čiže každý procesor má viac pamäte a času pre ďalšie úlohy.

Architektúra bola podrobená testom v teréne, a nakoľko sa nám podarilo pilotovať lietadlo bez väčších problémov, tak architektúra spĺnila podmienky pre bezpečnú pilotáž.

Najväčšie obavy sme mali najmä zo spoľahlivosti celého systému, ktorý je momentálne tvorený ako reťaz s veľa malých častí a každá musí byť maximálne spoľahlivá a pracovať s čo najmenším oneskorením.

Veľký problém pozostával s náhodných chýb indukovaných na komunikačných zberniciach, ktorý sme riešili tienením elektroniky a dátových káblov, a prispôbili sme zbernice a komunikačné protokoly do zaručeného prostredia.

Na lietadlo sme taktiež implementovali aj krízové riešenie nebezpečných stavov, pri zlyhaní komunikácie sa vyvolá autopilot, ktorý sa pokúsi o bezpečnú haváriu, tj. Znížiť dolet od miesta vyskytnutia problému a znížiť pádovú rýchlosť.

Projekt je riešený v snahe spĺňať nasledujúce vlastnosti:

- plne automatizovať pilotáž lietadla bez nutnosti obsluhy počas letu
- dosiahnuť nízke náklady z pohľadu pohonných a prevádzkových hmôt
- zostrojiť nízkoenergetické lietadlo s prvkami samostatného riadenia
- načrtnutie a vsunutie prvkov umelej inteligencie v rozhodovaní

12. Odkazy na literatúru

- [1] http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=64
- [2] <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/sd20tech.htm>
- [3] <http://www.pages.drexel.edu/~weg22/gpsMagpie/gpsFixedWing.html>
- [4] http://www.freescal.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7260QT.pdf
- [5] <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf08tech.shtml>
- [6] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ortodroma>