

»Mladi za napredek Maribora 2019«

36. srečanje

SIMULATOR LETENJA

Raziskovalno področje: **ELEKTROTEHNIKA, ELEKTRONIKA**

PROSTOR ZA NALEPKO

Avtor: ROK DOLENC

Mentor: BOJAN DEŽMAN

Šola: SREDNJA ELEKTRO-RAČUNALNIŠKA ŠOLA MARIBOR

Število točk: 160

Mesto: 3

Priznanje: zlato

Maribor, 2019

»Mladi za napredek Maribora 2019«

36. srečanje

SIMULATOR LETENJA

Raziskovalno področje: **ELEKTROTEHNIKA, ELEKTRONIKA**

PROSTOR ZA NALEPKO

Maribor, 2019

VSEBINA

1. POVZETEK	6
2. ZAHVALA	7
3. UVOD	8
4. SIMULATOR X-PLANE 11	9
5. SIMVIM	9
6. ELEKTRONIKA	11
6.1 Splošna vezava	11
6.2 Komponente – moduli	13
6.2.1 Arduino MEGA	13
6.2.2 Arduino NANO	14
6.2.3 16-kanalni Multiplexer	14
6.2.4 7-segmentni zaslon – MAX7219	15
6.2.5 A4988 krmilnik koračnega motorja	16
6.2.6 X27.186 koračni motor	17
6.2.7 Servo motor	18
6.2.8 74HC595 8-bitni shift register	18
6.3 Glavna plošča	19
7. IZDELAVA INSTRUMENTALNEGA PANELA	20
7.1 Panel	20
7.2 Instrumenti	20

7.2.1	Skupine instrumentov	22
7.2.2	1. Skupina instrumentov	23
7.2.3	2. Skupina instrumentov	24
7.2.4	3. Skupina instrumentov	25
7.3	Radio panel	26
7.3.1	Radio modul.....	26
7.3.2	Komunikacijski modul (COM/NAV)	27
7.3.3	ADF modul.....	27
7.3.4	DME modul	28
7.3.5	Transponder modul.....	28
7.3.6	Avtopilot modul	29
7.4	Vhodni predel instrumentalnega panela	29
8.	ZAKLJUČEK.....	30
9.	SEZNAM VIROV IN LITERATURE	31
10.	DRUŽBENA ODGOVORNOST	32

Slika 1: Shema poteka podatkov SimVim vmesnika (Vir: SimVim).....	10
Slika 2: Spletni konfigurator SimVim vmesnika (Vir: Avtor).....	10
Slika 3: Konfiguracija 4-bitnega vodila in posameznih pinov (Vir: SimVim)	11
Slika 4: Prikaz vezave 16-bitnega multiplexera uporabljenega kot VHOD (Vir: SimVim)	12
Slika 5: Prikaz vezave 16-bitnega multiplexera uporabljenega kot IZHOD (Vir: SimVim)	12
Slika 6: Prikaz vezave vseh komponent (Vir: SimVim)	13
Slika 7: Arduino NANO (Vir: Arduino).....	14
Slika 8: 16 kanalni multiplekser	15
Slika 9: Vezava 7-segmentnega krmilnik MAX7219 s 7-segmentnim zaslonom (Vir: Avtor).....	15
Slika 10: Prikaz 16-bitnega registra MAX7219 (vir: Avtor).....	16
Slika 11: Nastavitev števila korakov krmiljenja (Vir: Avtor)	16
Slika 12: Vezava koračnega motorja s krmilnikom A4988 (Vir: A4988).....	17
Slika 13: X27.168 koračni motor (Vir:)	17
Slika 14: Servo motor SG90 (Vir: Servo).....	18
Slika 15: Shema zaporedne vezave dveh 74CH595 (Vir: SimVim)	19
Slika 16: Primer DB podatkovnega kabla (Vir: DB).....	19
Slika 17: Instrumentalni panel v izdelavi (Vir: Avtor).....	20
Slika 18: Cessna 172P iz 80-ih let (Vir: Cessna)	21
Slika 19: Instrumenti oštevilčeni (Vir: Avtor)	22

Slika 20: Instrument izrisan v SketchUp programu (Vir: Avtor).....	23
Slika 21: Razstavljen instrument (Vir: Avtor).....	23
Slika 22: Veliki instrument izrisan v SketchUp programu (Vir: Avtor).....	24
Slika 23: Veliki instrument razstavljen (Vir: Avtor)	24
Slika 24: Veliki instrument z več kazalci izrisan v SketchUp programu (Vir: Avtor) ..	25
Slika 25: Veliki instrument z več kazalci razstavljen (Vir: Avtor)	25
Slika 26: Radio modul (vir: Avtor)	26
Slika 27: Primer vezja radio modula narisane v eagle programu (Vir: Avtor).....	26
Slika 28: Komunikacijski modul (vir: Avtor).....	27
Slika 29: ADF modul (vir: Avtor)	27
Slika 30: DME modul (vir: Avtor).....	28
Slika 31: Transponder modul (vir: Avtor)	28
Slika 32: Avtopilot modul (vir: Avtor).....	29
Slika 33: Vhodni del instrumentalnega panela (Vir: Avtor).....	29

1. POVZETEK

Prvotni namen raziskovalne naloge je bil raziskati delovanje ArdSimX vmesnika s ciljem izdelati simulator letenja. ArdSimX vmesnik je odprtokodna programska oprema, razvita namensko za izdelavo simulatorjev letenja. Med izvedbo naloge sem ugotovil, da ArdSimX vmesnik za namen izdelave originalne nadzorno-krmilne plošče (v nadaljevanju kokpit-a) letala Cessna 172, ni primeren. Po nadaljnjih raziskavah in primerjanju sorodnih programskih vmesnikov sem ugotovil, da bom svoj cilj dosegel z bolj kompleksnim in naprednejšim vmesnikom SimVim. V okviru naloge sem poleg navedenega vmesnika raziskal tudi vse uporabljene komponente in njihovo delovanje ter jih tudi podrobno opisal. Vse instrumente kokpit-a sem izdelal fizično, brez uporabe kakršnegakoli zaslona. Pri tem sem s pridom uporabljal svoj CNC rezkalni stroj, ki sem ga izdelal sam v okviru raziskovalne naloge v drugem letniku srednje šole.

2. ZAHVALA

Tokratna raziskovalna naloga je bila zelo kompleksen in zahteven projekt, ki mi enostavno ne bi uspel brez pomoči določenih oseb, katerim se iskreno zahvaljujem. Zahvaljujem se podjetju Laser Tehnik, ki mi je kot sponzor za to raziskovalno nalogo brezplačno ponudil in izrezal kovinsko ploščo za simulator. V omenjenem podjetju so mi po načrtih, ki sem jih pripravil sam, z natančnim CNC laserskim strojem izrezali ploščo z vsemi izrezi za stikala in instrumente iz nerjavečega jekla, dimenzij ca. 1 m x 0,43 m in s tem opravili odlično delo. Zahvaljujem se svojemu mentorju in očetu, ki sta mi ves čas stala ob strani in me podpirala pri izdelavi raziskovalne naloge. Zahvaljujem se tudi svojemu sošolcu, ki je pripomogel k izdelavi stikal in določenih plastičnih delov, katere je natisnil s 3D tiskalnikom. Projekt, o katerem sem sanjal več let, se je končno pričel uresničevati in postal realnost. Še enkrat se zahvaljujem vsem, ki so kakorkoli pripomogli k izdelavi te naloge.

3. UVOD

V letošnjem šolskem letu sem se odločil izdelati raziskovalno nalogo simulatorja letenja, oziroma natančnejše izdelave instrumentalnega panela ali kokpit-a letala Cessna 172. Idejo za to raziskovalno nalogo sem dobil na podlagi svojega hobija. Nadvse me namreč zanima letalstvo in v prostem času se ukvarjam z modelarstvom. Vodenje modelov letal, še posebej v slabem vremenu in zimskem času, pa zelo rad nadomestim tudi z računalniškim simulatorjem. Moja dolgoletna želja je bila zraven krmilne palice in zaslona računalnika pri vodenju letal uporabiti tudi realno opremo letala. Nakup simulatorja je seveda povezan z velikimi stroški, zato sem se odločil izdelati instrumentalni panel realne velikosti v merilu 1:1. Pri tem sem seveda moral sprejeti tudi nekaj kompromisov. Predvsem glede simulacije gibanja, ki ga moj simulator ne izvaja. Zato sem se toliko bolj posvetil izdelavi čim-bolj istovetnih instrumentov in stikal, pri čemer pa sem za njihovo delovanje moral precej natančno raziskati delovanje SimVim vmesnika, vseh električnih elementov in komponent, ki sem jih uporabil ter, seveda, osnov letenja.

4. SIMULATOR X-PLANE 11

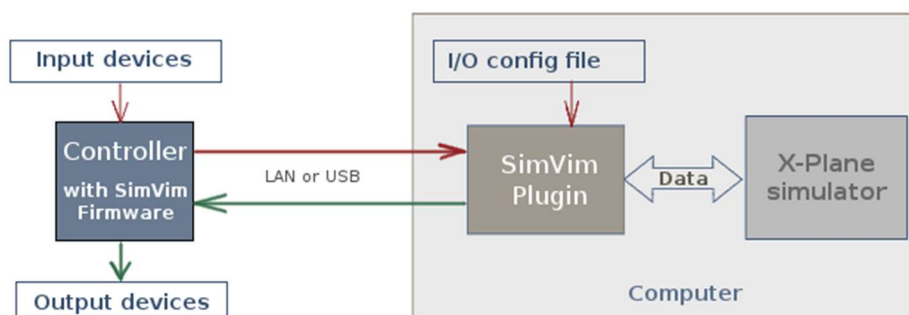
Simulacijski program X-Plane 11 je plačljiv simulator letenja, ki je trenutno eden izmed najboljših simulacijskih programov, dostopen vsakemu »intuziastu« letenja, ki želi izkusiti poklic pilota. Ponuja kar 3000 letališč po celem svetu in 11 tipov letal. Med njimi je tudi Cessna 172, za katerega sem se odločil za izdelavo instrumentalnega panela. Program je sicer plačljiv, vendar sem se sam za enkrat zadovoljil z brezplačno verzijo, katere omejitev je letenje maksimalno 30 minut.

5. SIMVIM



SimVim je odprtokoden vmesnik, s pomočjo katerega si lahko uporabnik izdelava simulator letenja po svoji želji. SimVim vmesnik omogoča 2 tipa komunikacije med računalnikom in mikrokontrolerjem. To sta serijska komunikacija preko USB porta ali ethernet komunikacija, preko ethernet modula, ki ga neposredno povežemo z glavno Arduino MEGA ploščico. SimVim vmesnik predstavlja SimVim vtičnik (Plug-IN), ki ga prenesemo na mesto, kjer je na računalniku nameščena simulacija. Ko poženemo simulacijo, se nam ob kliku funkcije *plugin* v zgornji opravilni vrstici pokaže okno SimVim vtičnika, kjer lahko naložimo programsko kodo na arduino ter ga konfiguriramo kot glavno, servo ali koračno ploščico. Za glavno ploščico se lahko uporabi Arduino MEGA, za servo in koračno ploščico pa samo UNO ali NANO in tako lahko v svoj projekt vključimo do 20 servo in koračnih motorjev. Delovanje SimVim vmesnika poteka v sedmih korakih. V **1. koraku** se vzpostavi komunikacija med mikrokontrolerjem in vtičnikom. V **2. koraku** vtičnik prebere konfiguracijsko datoteko *data.txt*, ki je shranjena v mapi vtičnika. V konfiguracijski datoteki se nahajajo podatki vseh vhodnih in izhodnih enot, njihovi pini in posamezne vrednosti. V **3. koraku** Arduino program zahteva podatke konfiguracijske datoteke. V **4. koraku** mu vtičnik pošlje te podatke na vsak zahtevek. V **5. koraku** Arduino shrani konfiguracijske podatke za določene porte mikrokontrolerja. Med vsakim pošiljanjem konfiguracijskih podatkov je serijska komunikacija med mikrokontrolerjem in vtičnikom zasedena in

kontroler ne prejema podatkov simulacije. V **6. koraku** Arduino prebere vrednosti oziroma pozicije ali stanja vseh konfiguracijskih vhodnih pinov in jih pošlje vtičniku. Ta nato v simulaciji spremeni posamezne parametre (krmilna palica, tipka, stikalo, itd.). V **7. koraku** vtičnik glede na konfiguracijsko datoteko pošlje Arduino vse podatke izhodnih enot v enem ali več paketih, ki jih nato mikrokontroler krmili.



Slika 1: Shema poteka podatkov SimVim vmesnika (Vir: SimVim)

Parameter Table Panel and Instrument Layouts Click an empty pin number to assign extension

Number of Engines: 1 2 3 4 Data file > Edit SAVE

Flight Controls Gear Brakes Engine Ignition System Air / Hyd / Fire FUEL Cockpit Anti-Ice Electric Lights AP / MCP / FCU
Flight Instruments COM / NAV XPDR, AUDIO ADF / DME NAV indicators GPS EFIS FMC CDU G1000 Time / Clock Weather
Feedback Positioning, IRS Unsorted, Custom SimVim Functions

Flight Controls Annunciators Flight control indicators Assign condition parameters

Izbira parametrov letala

Primary Flight controls

Yoke Pitch Axis	Yoke_Pitch_Position	a
Yoke Roll Axis	Yoke_Roll_Position	a
Rudder Axis	Rudder_Position	a

Trims (analog potentiometer)

Elevator trim, analog axis	Elevator_Trim_Position	a
Aileron trim, analog axis	Aileron_Trim_Position	a
Rudder trim, analog axis	Rudder_Trim_Position	a

Trims, +/- control (2 buttons or encoder)

Elevator trim +/- step	Elevator_Trim_Step	e
Aileron trim +/- step	Aileron_Trim_Step	e
Rudder trim +/- step	Rudder_Trim_Step	e

Electric Pitch Trim control (on the Yoke), AP disengage

SimVim custom, [read description here](#)

Electric Trim ARM	Elec_Trim_Arm	b
Electric Trim UP / Dn	Elec_Trim	T
Electric Trims Mode switch (Trims OFF / AP Off / ON)	Elec_Trim_Mode	T

Trims preset

Pitch trim - Set for Takeoff	Pitch_Trim_Takeoff	b
Aileron trim - Set to center.	Aileron_Trim_Center	b
Rudder trim - Set to center.	Rudder_Trim_Center	b

Izbira ploščice

Board > Master Stepper Servo

Extended Simple Ethernet Serial

Master Board pins

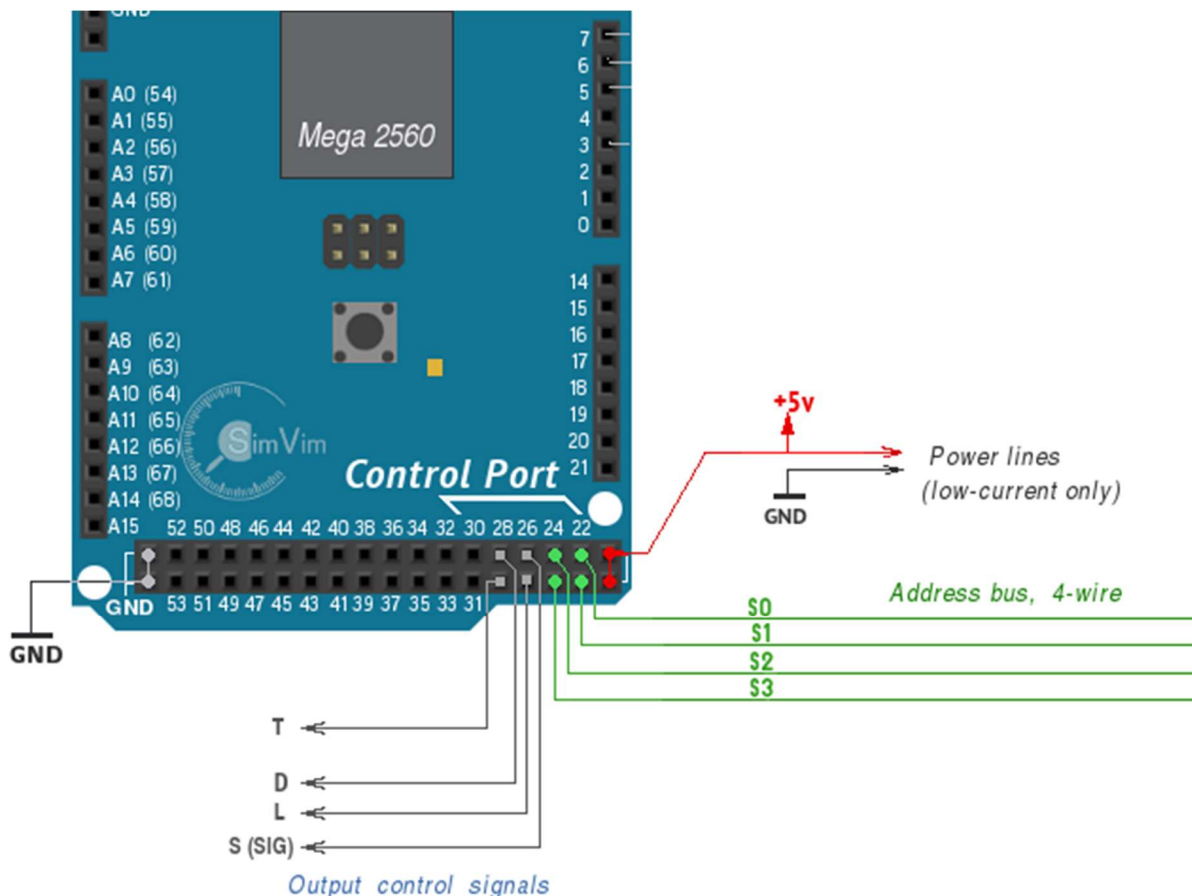
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

Tukaj konfiguriramo posamezen pin mikrokontrolerja

Slika 2: Spletni konfigurator SimVim vmesnika (Vir: Avtor)

6. ELEKTRONIKA

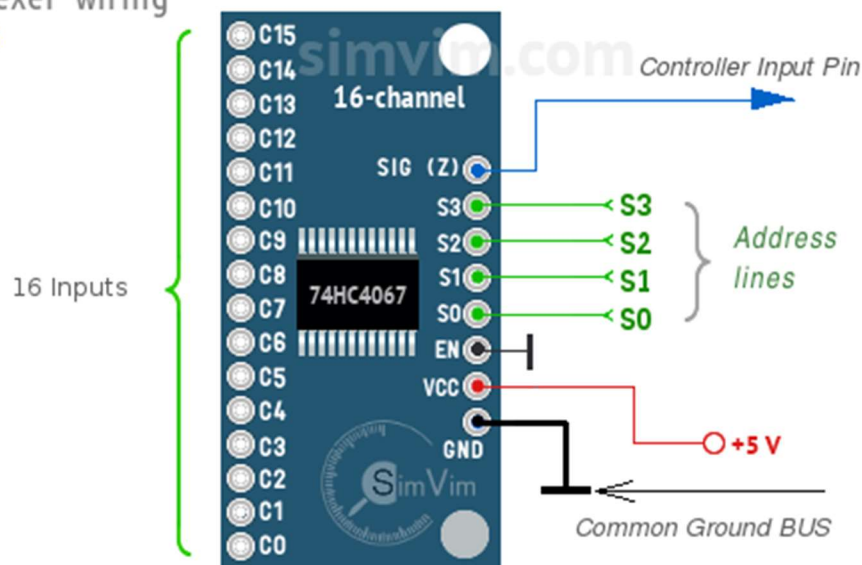
6.1 Splošna vezava



Slika 3: Konfiguracija 4-bitnega vodila in posameznih pinov (Vir: SimVim)

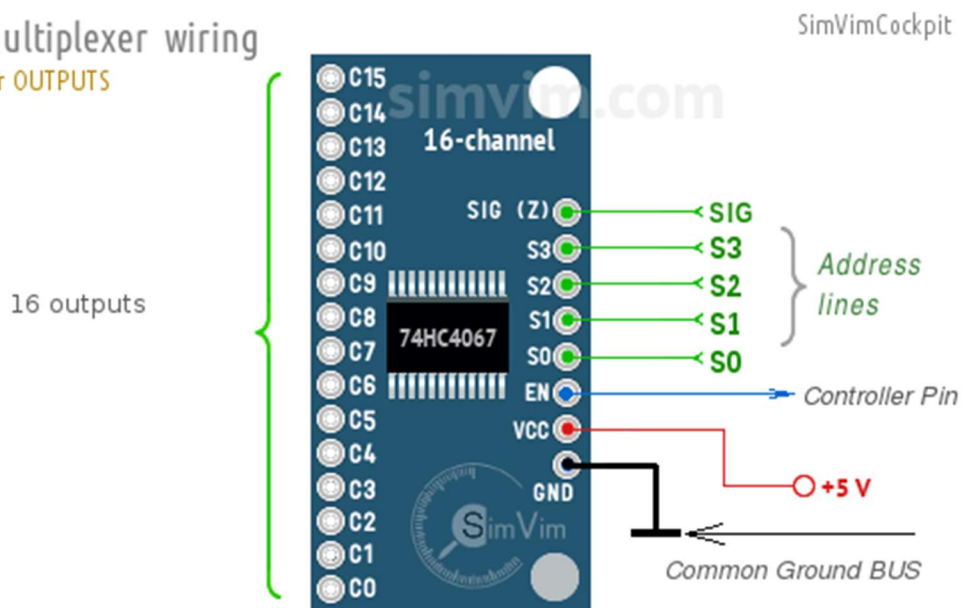
V osnovi lahko v konfiguratorju pinov določimo želen pin za določeno enoto. Pini 18, 19, 22 – 29 so zasedeni in že vnaprej določeni. Pina **18** in **19** se uporabljata za povezavo servo ali koračne ploščice (ard. NANO ali UNO) z glavno (ard. MEGA). Gre za TTL komunikacijo TX in RX. Pini **22 – S0**, **23 – S1**, **24 – S2** in **25 – S3** se uporabljajo za naslovno vodilo, s pomočjo katerih naslavljam do 16 modulov priključenih na posamezen multiplexer. Pin **26 – Signal** je konfiguriran kot izhod in se uporablja za krmiljenje posameznih komponent, povezanih na izhodni multiplexer. Pin **27 – L (Load – CS)** ali Chip Select, izbira čipa, se uporablja za vklop naslovnega registra krmilnika MAX7219 ali 74CH595. Pin **28 – D (DIN – Data in)** se uporablja za zapis 16-bitnega registra. Pin 29 – T je namenjen za uporabo TM1637 LED krmilnikov, katerih sam nisem uporabil.

Multiplexer wiring for INPUTS

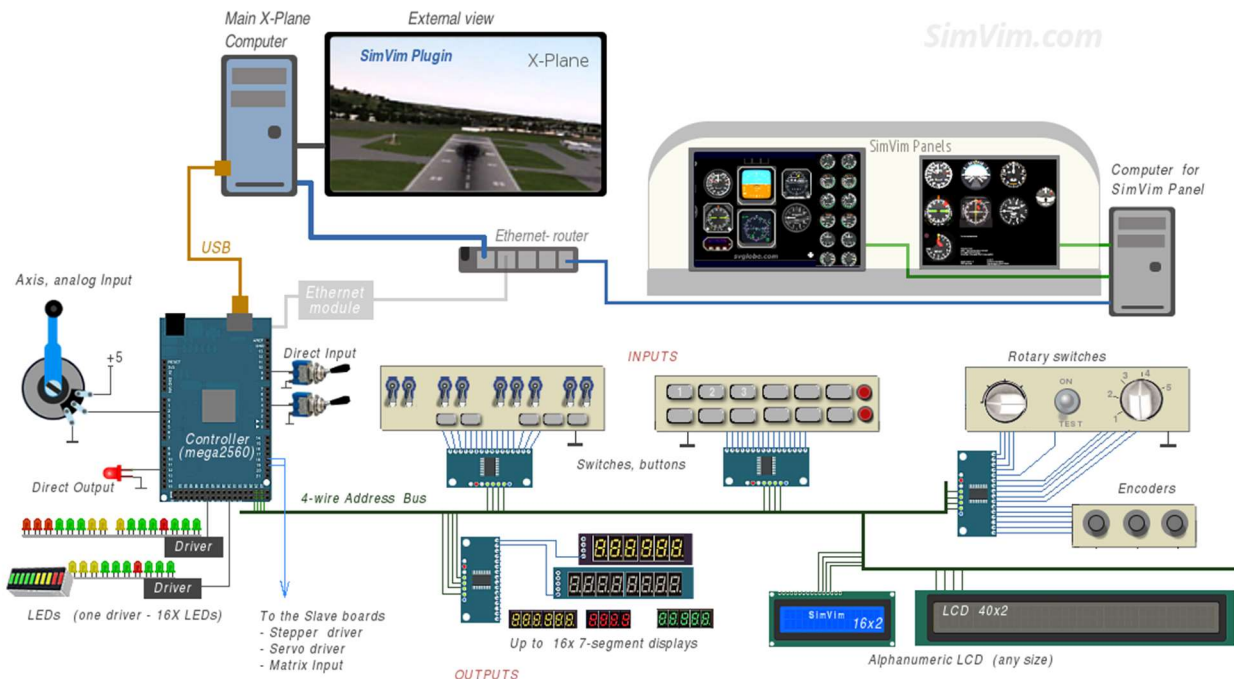


Slika 4: Prikaz vezave 16-bitnega multiplexera uporabljenega kot VHOD (Vir: SimVim)

Multiplexer wiring for OUTPUTS



Slika 5: Prikaz vezave 16-bitnega multiplexera uporabljenega kot IZHOD (Vir: SimVim)



Slika 6: Prikaz vezave vseh komponent (Vir: SimVim)

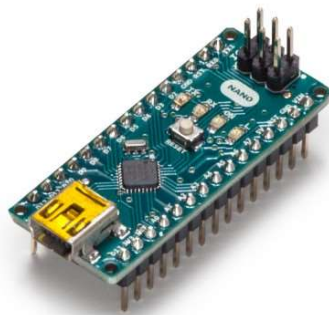
6.2 Komponente – moduli

6.2.1 Arduino MEGA

SimVim vmesnik za srce krmilja uporablja razvojno ploščico Arduino MEGA. Ta predstavlja master – glavno ploščico. Ploščica vsebuje mikrokrmilnik ATmega 2560. Arduino MEGA je uporabljen iz preprostega razloga, zaradi velikega števila digitalnih in analognih pinov, namreč ima kar 52 digitalnih in 16 analognih pinov. Ploščica uporablja vezje 16u2, kot vmesnik med TTL logiko in USB. Ploščica ima dve možni napajanja 3.3 V ali 5 V, napajanje ploščice pa znaša 7-17 V na pinu VIN ali preko jacka, ki je nameščen na koncu ploščice. Ker pa ima mikrokrmilnik ATmega 2560 SMD podnožje in je prispajkan na ploščico, ga pozneje ne bi mogel vgraditi v svoje vezje, sem zato izdelal shield – glavno ploščo.

6.2.2 Arduino NANO

Arduino NANO je majhna razvojna ploščica namenjena izdelavi manjših prototipnih vezij. Ploščica vsebuje mikrokontroler ATmega 328. Ploščica uporablja FTDI integrirano vezje, kot vmesnik med TTL logiko in USB. Ima dve možni napajanja 3.3 V ali 5 V, napajanje ploščice pa znaša 7-12 V na pinu VIN. Ker pa ima mikrokontroler ATmega 328 SMD podnožje in je prispajkan na ploščico, ga pozneje ne bi mogel vgraditi v svoje vezje, sem zato izdelal shield – glavno ploščo, na katero ga bom priključil kot modul. Arduino NANO pri SimVim vmesniku predstavlja krmilno ploščico koračnih in servo motorjev. Skupno lahko krmili do 20 motorjev.



Slika 7: Arduino NANO (Vir: Arduino)

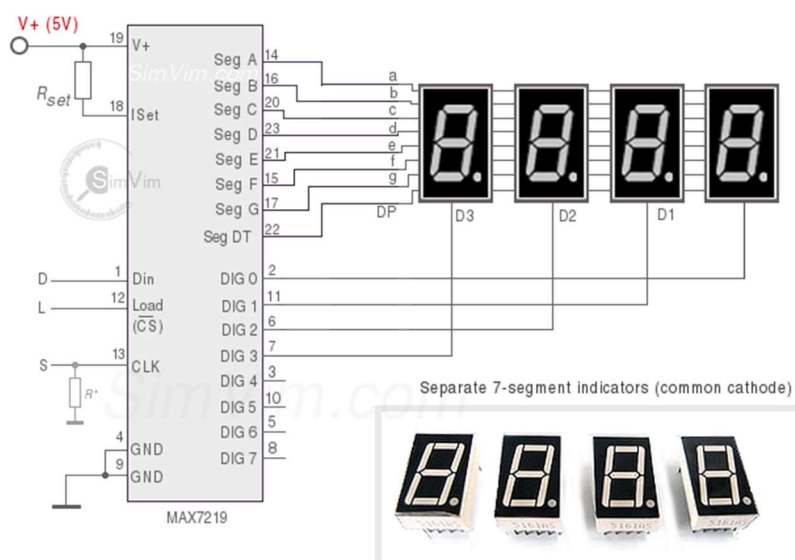
6.2.3 16-kanalni Multiplexer

Multiplexer je vezje, namenjeno zmanjševanju števila žic v vezju. Za vmesnik SimVim so namenjeni hitri 16 kanalni multiplekserji CD74HC4067. Multiplexer se z Arduino povezava preko 4-bitnega naslovnega vodila S0, S1, S2 in S3, preko katerega mikrokontroler naslavlja posamezne izhodne komponente. Komponente, ki so priključene na posamezen izhod ali vhod multiplexerja, prejemajo podatek o stanju preko pina S – signal. Pin EN ali (enable) je pin, s katerim vklopimo ali izklopimo delovanje multiplexerja. Ta pin pa se veže na posamezen pin na Arduino, ki je konfiguriran za posamezen multiplexer.



Slika 8: 16 kanalni multiplekser

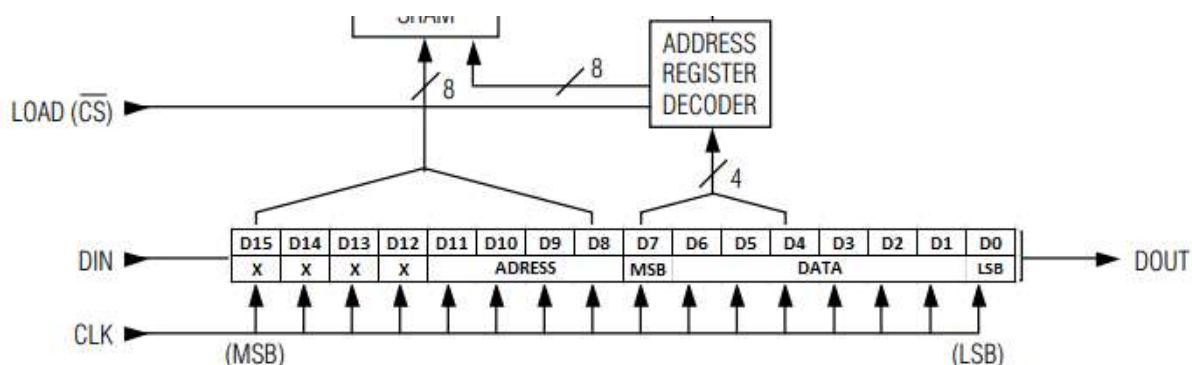
6.2.4 7-segmentni zaslon – MAX7219



Slika 9: Vezava 7-segmentnega krmilnika MAX7219 s 7-segmentnim zaslonom (Vir: Avtor)

Prvotna zamisel za izdelavo 7-segmentnega zaslona, je bila z 8-bitnimi preklopnimi registri 74HC595. Kasneje sem ugotovil, da bi izdelava takega vezja predstavljala preveliko število komponent in bi bilo zelo težavno za izvedbo takšne strukture. Za rešitev tega problema sem se odločil za uporabo 7-segmentnega krmilnika MAX7219, za katerega se lahko uporabljajo več mestni (digit) 7-segmentni zasloni. MAX7219 se krmili s 3 pini, to so CLK – clock ali pulzirajoč signal, DIN in LOAD. Krmilnik ima na vhodu 16-bitni register, ki je razdeljen na 3 dele. Prvi register je 4-bitni don't care register (D15 – D12), katerega se v mojem primeru ne uporablja, naslednji je 4-bitni naslovni register, s katerim naslovimo željen 7-segmentni digit (D11 – D8) in zadnji je

8-bitni podatkovni register, s pomočjo katerega se določi posamezno kombinacijo 7-segmentnega zaslona (D7 - D0) z upoštevanjem decimalne pike.



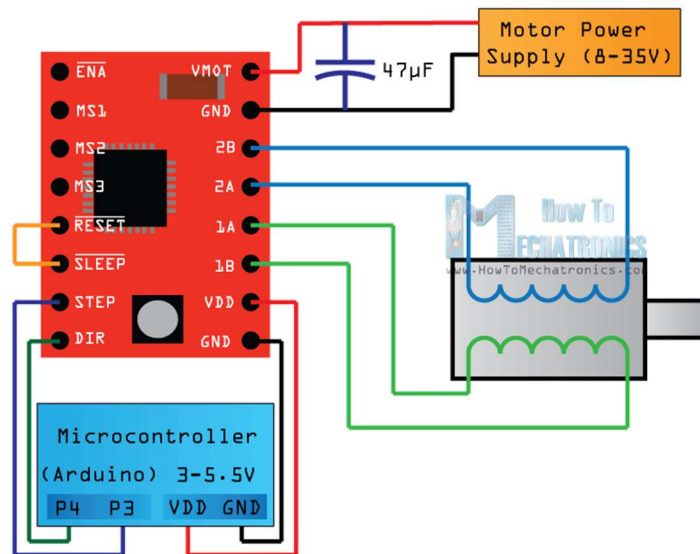
Slika 10: Prikaz 16-bitnega registra MAX7219 (vir: Avtor)

6.2.5 A4988 krmilnik koračnega motorja

Za krmiljenje koračnega motorja sem uporabil krmilno ploščico s krmilnikom A4988. Gre za preprost krmilnik koračnega motorja, ki omogoča krmiljenje bipolarnega motorja do 2 A na tuljavo. Napajanje ploščice znaša 5 V, napajanje motorja pa se lahko nastavi od 8 do 35 V. Pini **MS1**, **MS2** in **MS3** so namenjeni nastavitvi števila korakov krmiljenja, namreč krmilnik omogoča mikrokoračenje (microstepping) do 1/16 koraka. SimVim vmesnik omogoča krmiljenje koračnega motorja 1/4 koraka, kar pomeni, da se koračni motor x27.168 z enim korakom premakne za 1/12°. V mojem primeru sem zato uporabil nastavitve MS1 = L, MS2 = H, MS3 = L. Krmilnik ima 3 pine s katerimi lahko vplivamo na napajanje. To so pin **ENA** (ENABLE), ki se uporablja za vklop delovanja krmilnika, ko je stanje na vhodu 0, **RESET**, ki izklopi delovanje FET tranzistorjev v krmilniku in tako ignorira vse impulze na pinu **STEP** v primeru stanja 1 oziroma omogoča nemoteno delovanje če je stanje 0 in **Sleep** (spanje), ki omogoči varčevanje energije, kadar motor ne deluje. Če je stanje 0 se krmilnik postavi v stanje spanja.

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution
Low	Low	Low	Full step
High	Low	Low	Half step
Low	High	Low	Quarter step
High	High	Low	Eighth step
High	High	High	Sixteenth step

Slika 11: Nastavitev števila korakov krmiljenja (Vir: Avtor)



Slika 12: Vezava koračnega motorja s krmilnikom A4988 (Vir: A4988)

6.2.6 X27.186 koračni motor

SimVim vmesnik je posebej dizajniran za uporabo X27.168 koračnih motorjev. Gre za bipolarni koračni motor, katerega resolucija vrtenja je $1/3^\circ$ na en korak, kar predstavlja 1080 korakov na obrat oziroma 360° . Ti motorji so zelo hitri, saj omogočajo zasuk osi do $600^\circ/\text{s}$. Motor se dejansko uporablja za različne izvedbe instrumentov. Zaradi majhne velikosti (3 cm x 3 cm) in visoke natančnosti lahko motor najdemo v instrumentalnih ploščah avtomobilov.

Za izdelavo instrumentov s pomikom kazalca 360° ali več, sem pri nalogi uporabil omenjene X27.168 koračne motorje, saj servo motorji omogočajo pomik le do ca. 180° .



Slika 13: X27.168 koračni motor (Vir:)

6.2.7 Servo motor

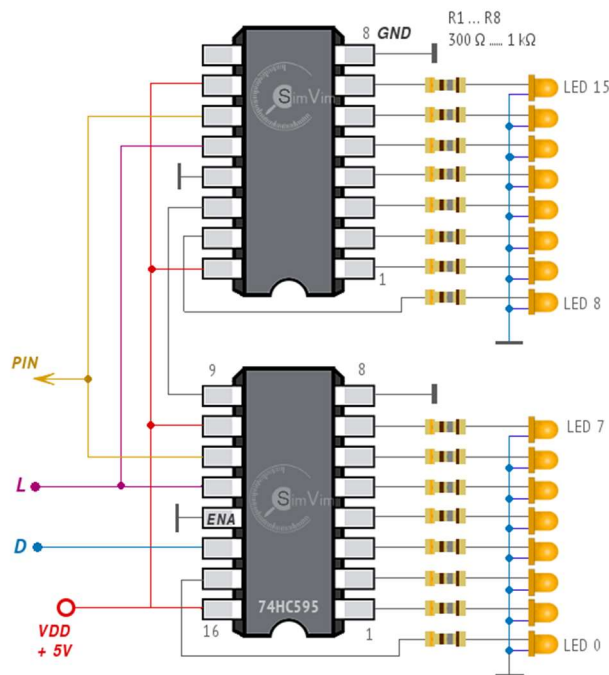
Za izvedbo določenih instrumentov, katerih kazalci ne presegajo pomikov 180° , sem uporabil mikro servo motorje SG90. Gre za zelo pogosto uporabljene servo motorje, ki so zaradi majhne izvedbe primerni za modelarstvo in izdelavo instrumentov. Servo motorji imajo 3 priključke. To so: 1. napajanje +5V, 2. napajanje GND in 3. signalni priključek. Pozicijo servo motorja se krmili s pomočjo PWM signala. PWM signal je pulzirajoča napetost določene frekvence, kateri spreminjamo Duty cycle oziroma razmerje med logično »enka« in »ničlo«. Glede na to razmerje se spreminja pozicija servo motorja.



Slika 14: Servo motor SG90 (Vir: Servo)

6.2.8 74HC595 8-bitni shift register

Za krmiljenje posameznih LED diod je pri vmesniku SimVim dizajnirana uporaba LED-krmilnikov. LED-krmilnik DM13A je namenjen za krmiljenje 16 LED diod naenkrat. Ker na tržišču nisem našel 16-bitnega premikalnega registra, sem se odločil za uporabo 8-bitnih premikalnih registrov 74HC595, ki pa sem jih po dva vezal zaporedno in tako dobil 16-bitne registre. Delovanje premikalnih registrov je popolnoma enako kot delovanje krmilnika MAX7219.



Slika 15: Shema zaporedne vezave dveh 74CH595 (Vir: SimVim)

6.3 Glavna plošča

Za koncept povezave instrumentov z Arduino Mega ploščico sem si zamislil izdelavo glavne plošče, na kateri so nameščeni multiplekserji, LED-gonilniki, Arduino NANO ploščici za servo in koračne motorje ter moški DB priključki, ki s podatkovnimi kabli povezujejo instrumente. Takšen način vezave se namreč uporablja pri realnih letalih zaradi česar sem se tudi sam odločil za takšno izvedbo. V primeru servisa se instrument odklopi od plošče in se ga lahko zamenja z novim. Kot sem že omenil pri opisu Arduino MEGA ploščice, bo zanj glavna plošča predstavljala »shield«.

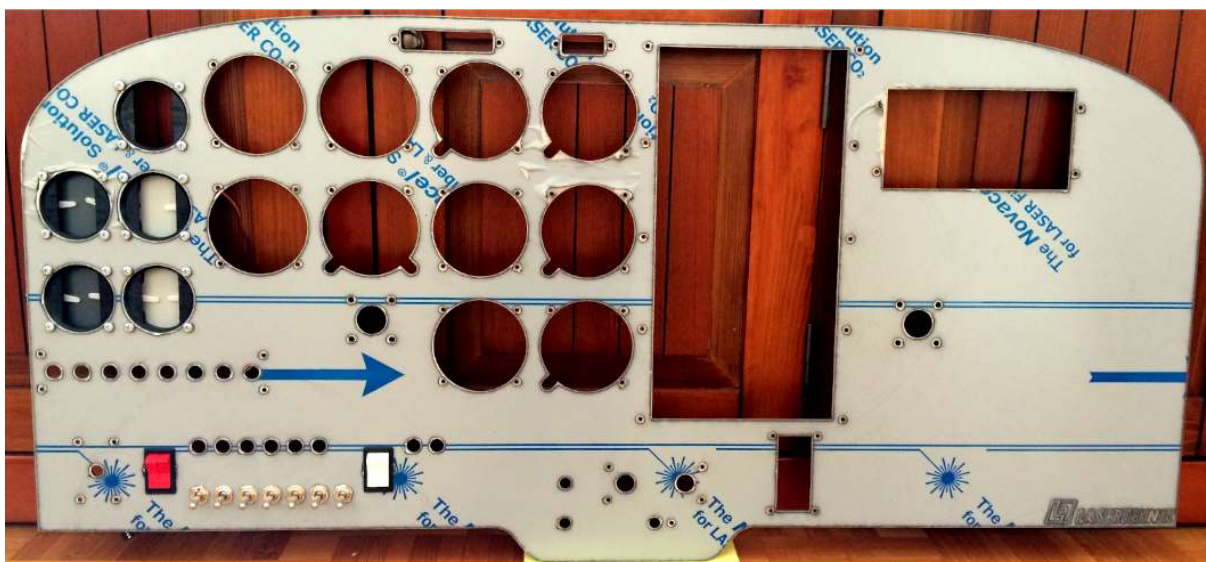


Slika 16: Primer DB podatkovnega kabla (Vir: DB)

7. IZDELAVA INSTRUMENTALNEGA PANELA

7.1 Panel

Panel sem v 2D izrisal v programskem okolju SkethUp in ga nato izvozil v DXF datoteki, s pomočjo katere so v podjetju Laser Tehnik izrezali celoten panel. Pri izbiri materiala sem bil skeptičen glede uporabe aluminija. Ker je mehak, sem se raje odločil za nerjaveče jeklo, ki je zelo togo in bolj odporno na zvine. Slaba stran izbire materiala je edino masa, saj je panel zelo težek za transport. Dimenzije panela so 1000 x 430 mm.



Slika 17: Instrumentalni panel v izdelavi (Vir: Avtor)

7.2 Instrumenti

Za razpored instrumentov, ki je uporabljen pri tem panelu, sem se odločil zaradi kompleksnosti instrumentov. Izziv mi je predstavljal izdelati mehanske instrumente s kazalci in vsemi indikatorji, kot so bili izdelani pri modelu letala Cessna 172p leta 1981.



Slika 18: Cessna 172P iz 80-ih let (Vir: Cessna)

Izdelati sem moral 14 instrumentov.

1. Nivo goriva v levem in desnem rezervoarju
2. Temperatura izpušnih plinov motorja
3. Temperatura in tlak olja motorja
4. Volt meter alternatorja in amper meter alternatorja
5. Merilec hitrosti v čevljih
6. Horizon instrument horizontalnega nagiba osi X in Y
7. Višinomer v čevljih
8. VOR navigacija 1
9. Nagib letala po osi Y (krogla)
10. Kompas – navigacija smeri letenja
11. Vertikalna hitrost letenja
12. VOR navigacija 2
13. Merilec vrtljajev motorja (RPM)
14. ADF navigacija



Slika 19: Instrumenti oštevilčeni (Vir: Avtor)

7.2.1 Skupine instrumentov

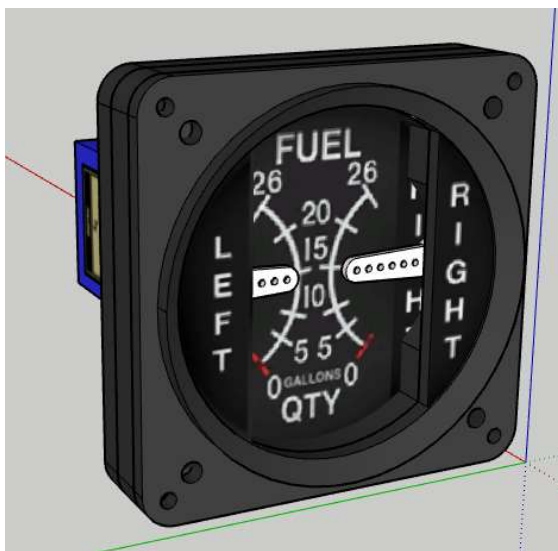
Instrumente sem po težavnosti izdelave ločil v 3 skupine.

V 1. skupini so mali instrumenti, namenjeni za vpogled stanja določenih parametrov letala (1, 2, 3, 4), v 2. skupini so instrumenti z enim kazalcem (5, 11, 13) in v 3. skupini so kompleksni instrumenti z več kazalci (6, 7, 8, 9, 10, 12, 14).

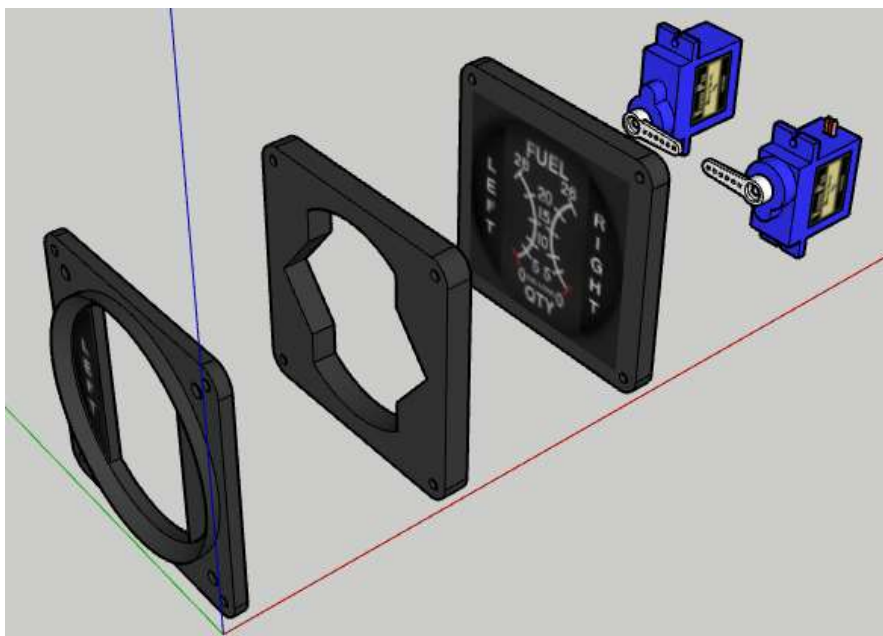
Za izdelavo instrumentov sem si zamislil svoj koncept. Instrumenti so sestavljeni iz dveh glavni delov – instrumentnega vložka in ostalih delov, privitih na vložek. Instrumenti se v panel privijačijo s štirimi M4 vijaki, medtem kot so ostali deli z instrumentnim vložkom povezani z M3 vijaki.

7.2.2 1. Skupina instrumentov

V 1. skupino sem uvrstil male instrumente, ki so preprosti za izvedbo. Ker imajo ti instrumenti pomik kazalcev 150° , sem zanje uporabil servo motorje. Na spodnjih slikah lahko vidimo načrt malih instrumentov.



Slika 20: Instrument izrisan v SketchUp programu (Vir: Avtor)



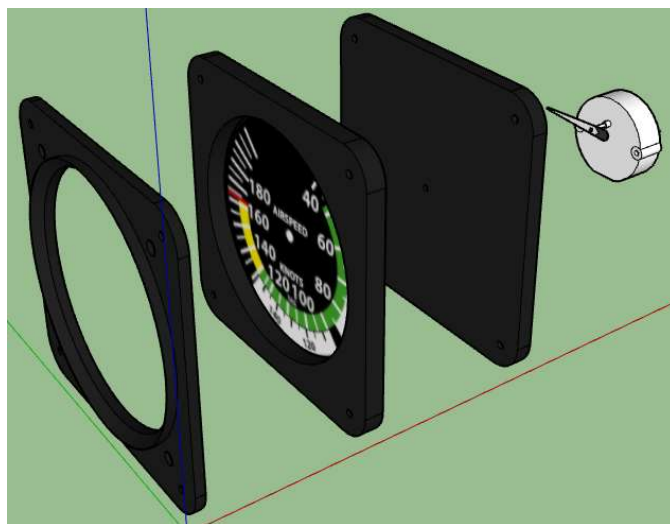
Slika 21: Razstavljen instrument (Vir: Avtor)

7.2.3 2. Skupina instrumentov

V 2. skupino sem uvrstil instrumente z enim kazalcem. Ker imajo ti instrumenti pomik kazalcev 360° in več, sem zanje uporabil koračne motorje. Na spodnjih slikah lahko vidimo načrta instrumenta.



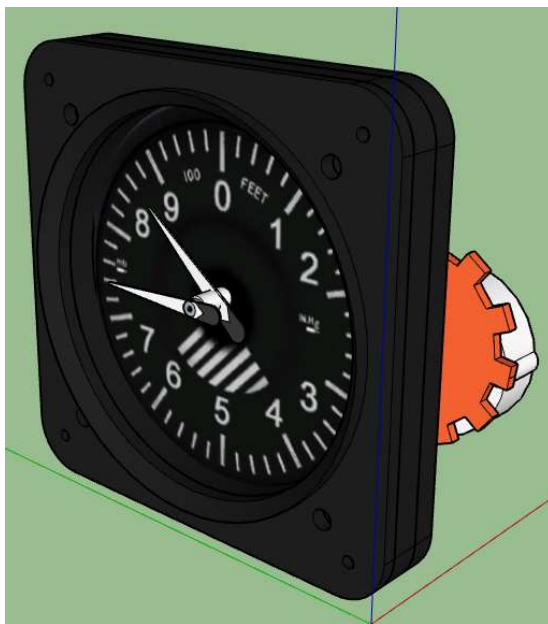
Slika 22: Veliki instrument izrisan v SketchUp programu (Vir: Avtor)



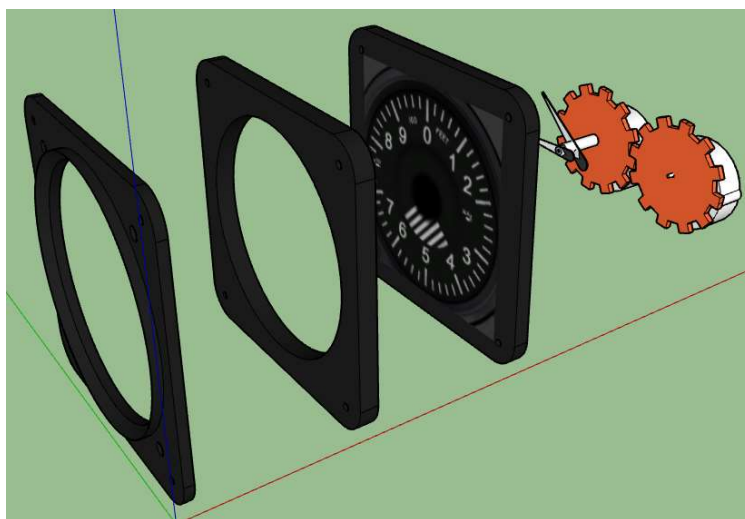
Slika 23: Veliki instrument razstavljen (Vir: Avtor)

7.2.4 3. Skupina instrumentov

V 3. skupino sem uvrstil velike instrumente, ki so težji za izvedbo. Ker imajo ti instrumenti pomik kazalcev 360° in več, sem zanje uporabil koračne motorje. Izjema je instrument horizonta, ki ne presega gibanja 180° . Za ta instrument sem uporabil servo motorje. Na spodnjih slikah lahko vidimo primer načrta instrumenta.



Slika 24: Veliki instrument z več kazalci izrisan v SketchUp programu (Vir: Avtor)



Slika 25: Veliki instrument z več kazalci razstavljen (Vir: Avtor)

7.3 Radio panel

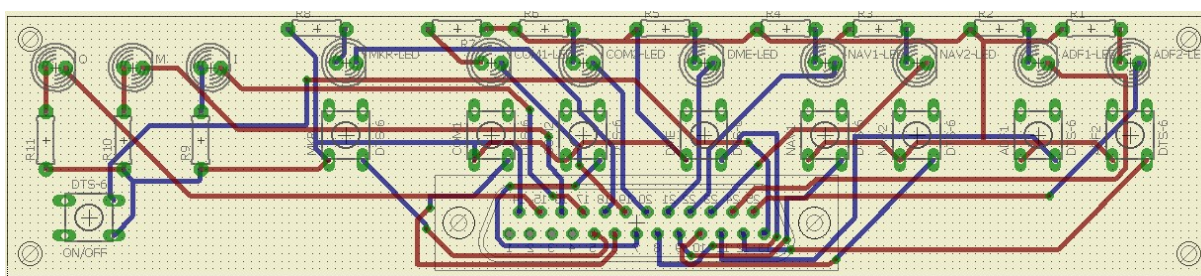
Radio panel je razdeljen na 7 modulov. Prvi modul je radio modul, ki omogoča vklop posameznih modulov (npr. komunikacijski in navigacijski). Drugi in tretji sta enaka, vendar ločena kot dva posamezna modula za komunikacijo (COM1 in COM2) in za navigacijo (NAV1 in NAV2). Četrty modul je ADF modul, namenjen za starejši način navigacije letenja, peti je DME modul, kateri omogoča spremljanje podatkov navigacije 1, šesti modul je transponder, ki omogoča identifikacijo in zaznavanje posameznega kontrolnega stolpa, s katerim lahko pilot komunicira in sedmi modul je avtopilot, ki je namenjen avtomatskemu letenju, pri čemer pilot ne pilotira letala.

7.3.1 Radio modul



Slika 26: Radio modul (vir: Avtor)

Radio modul je namenjen vklopu posameznih modulov v radio panelu. Pri izdelavi vezja za radio modul sem uporabil tipke in LED-diode. Za tipke ni bilo potrebno vezati pomožnih (pullup ali pulldown) uporov, saj so v arduinu že vključeni.



Slika 27: Primer vezja radio modula narisane v eagle programu (Vir: Avtor)

7.3.2 Komunikacijski modul (COM/NAV)



Slika 28: Komunikacijski modul (vir: Avtor)

Komunikacijska modula COM1/NAV1 in COM2/NAV2 sta namenjena komunikaciji s kontrolnim stolpom in navigaciji. Na obeh modulih nastavljamo 2 frekvenci. Prva je uporabljena frekvenca (USE FRQ), katera je v uporabi kadar je modul vklopljen in druga je v pripravljenosti (STBY FRQ), katera je namenjena za nastavljanje. Ko želimo nastavljeno frekvenco v pripravljenosti vklopiti kot uporabno pritisnemo belo tipko FLIP, ki zamenja frekvenci. Pri navigaciji frekvenca, ki je v uporabi nastavi navigacijski instrument na željeno pot, ki smo jo izbrali z OBS enkoderjem poleg instrumenta. Ta modul ima uporabljene 5 mestne 7-segmente zaslone, ki prikazujejo 5 mestno frekvenco (npr. 120,25 MHz), dvojne enkoderje z dvema osema. Z zunanjo osjo se nastavljajo MHz ter z notranjo osjo KHz.

7.3.3 ADF modul



Slika 29: ADF modul (vir: Avtor)

ADF (Automatic Direction Finder) modul je namenjen starejšemu navigacijskemu sistemu. Kot zgoraj opisano imamo pri tem modulu tudi frekvenco v uporabi in frekvenco v pripravljenosti. Tukaj preprosto nastavimo frekvenco določene bazne postaje v doseg, nakar nas rumena puščica na ADF instrumentu usmerja proti njej.

7.3.4 DME modul



Slika 30: DME modul (vir: Avtor)

DME (Distance Measuring Equipment) modul je namenjen spremljanju podatkov navigacije 1. Nameščene imamo tri 7-segmentne 3-mestne zaslone. Prvi 3-mestni zaslon prikazuje zračno oddaljenost od nekega letališča oziroma bazne postaje v NM (nautical mile), na katerega je nastavljena navigacija 1, drug 3-mestni zaslon predstavlja hitrost letenja glede na tla v čevljih in tretji 2-mestni zaslon prikazuje čas v min.

7.3.5 Transponder modul



Slika 31: Transponder modul (vir: Avtor)

Transponder modul je namenjen prepoznavanju letala v nekem okolju. Transponder z določeno frekvenco, ki je določena s 4-mestno kodo oddaja signal, ki ima nek pomen. Tipična koda v Evropi je 7000, ki sporoča, da pilot letalo leti v VFR načinu. (VFR ali Visual Flight Rule je način letenja, ko pilot preceni, da je vidljivost dovolj visoka, da leti vizualno, brez pomoči instrumentov). Ko kontrolor letenja v kontrolnem stolpu s pomočjo radarja zazna to letalo, izve njegove namere oziroma njegov način letenja. Pri tem modulu gre za uporabo tipk, in 4-mestnega 7-segmentnega zaslona.

7.3.6 Avtopilot modul



Slika 32: Avtopilot modul (vir: Avtor)

Avtopilot je modul, namenjen avtomatskemu letenju letala. Na avtopilotu lahko vklopimo samodejno letenje letala glede na posamezne funkcije. To so navigacija, ILS sistem, ki omogoča samodejen pristanek letala, smer letenja (heading) in vertikalno hitrost ali hitrost spuščanja ali vzpenjanja (VS – Vertical Speed). Vse funkcije se izbirajo s pomočjo tipk. Za prikaz posameznih funkcij, ali so vklopljene ali ne, sem uporabil LCD 16x2 prikazovalnik.

7.4 Vhodni predel instrumentalnega panela



Slika 33: Vhodni del instrumentalnega panela (Vir: Avtor)

Vhodni oziroma spodnji del instrumentalnega panela je namenjen krmiljenju letala. Najprej je stikalo, s katerim zaženemo motor, glavni stikali (master switch), za vklop alternatorja in akumulatorja. Sledijo stikala za vklop črpalke za gorivo, opozorilne luči, pristajalne luči, luči za taksiranje, navigacijske luči, pozicijske luči in grelec pitotove cevi. Naslednji stikali sta namenjeni za vklop napajanja prvega in drugega vodila, na katerega so priključeni določeni moduli radio panela. Sledita potenciometra za nastavljanje svetlosti radio panela. Naslednja sta linijska potenciometra, ki krmilita hitrost vrtenja motorja (črn) in mešanico med zrakom in gorivom za motor (rdeč). Na desni strani je še nameščena ročica za nastavitev kota pozicije zakrilc (od 0° do 30°). Za ročico sem uporabil štiri tipke, ki zaznajo pozicijo ročice.

8. ZAKLJUČEK

Cilj te raziskovalne naloge je bil izdelati panel realnega športnega letala, ki v povezavi z ustrežno programsko opremo in osebnim računalnikom predstavlja simulator letenja. V času izdelave sem ugotovil, da vmesnik ArdSimX, ki sem ga prvotno želel uporabiti za ta namen, ni primeren za izdelavo dokaj kompleksnega simulatorja, saj je preveč poenostavljen. Kot rešitev sem uporabil vmesnik SimVim, ki deluje na istem principu, vendar je bolj kompleksen in tudi bolj zahteven. Cilj je bil tudi raziskati SimVim vmesnik, katerega pa žal nisem moral podrobno raziskati, saj je kodiran in popolnoma nedostopen za navadnega uporabnika. Hotel sem raziskati Arduino kodo, ki je zapisana v Arduinu, a mi to žal ni uspelo. Kljub neuspehu podrobne raziskave vmesnika, sem projekt izdelave simulatorja speljal do konca in izdelal delujoč instrumentalni panel, ki ima uporabno vrednost.

9. SEZNAM VIROV IN LITERATURE

SimVim (10. 9. 2018 – 9. 2. 2019):

<http://simvim.com/>

Servo (23. 12. 2018):

<https://robu.in/product/towerpro-sg90-9gm-1-2kg-180-degree-rotation-servo-motor-good-quality/>

Cessna (3. 12. 2018):

https://lh4.googleusercontent.com/GLaf4jPP8Xs/TXwOng0tHQI/AAAAAAAAAAwo/2eVXZzee2WQ/s800/cessna_r172k_1980.jpg

A4988 (5. 1. 2019):

<https://www.robotshop.com/media/files/pdf/datasheet-1182.pdf>

X27.168 (15. 1. 2019):

https://www.jukenswisstech.com/JSTFiles/downloads/2011/06/X27_Flyer_v1.3.pdf

MAX7219 (15. 1. 2019):

<https://www.best-microcontroller-projects.com/image-files/max7219-internal-block-diagram.jpg>

DB (16. 1. 2019):

<https://www.amazon.com/StarTech-com-Cross-Wired-Serial-Modem/dp/B00066HL50>

10. DRUŽBENA ODGOVORNOST

Letalstvo je zelo zanimiva veja hobija in poklica. Vendar, koliko je zanimiva, je žal povezana s precejšnjimi stroški. Stroški, ki so potrebni za letenje so izredno veliki. Postati dober pilot z malo denarja je zelo zahtevno ali celo nemogoče. Če hočemo leteti z letalom ga seveda moramo imeti. Če je letalo naša last, predstavlja zelo velik strošek vzdrževanje letala, zavarovanje, najem prostora v hangarju in skrb, zato obstaja rešitev najema letala. Poleg stroška letala, nastopa tudi strošek goriva in strošek drugih potrošnih materialov. Moja raziskovalna naloga predstavlja veliko manjši strošek letenja, ki nastane v realnosti. Ker gre za simulacijo, pilot sicer ne dobi realnega občutka letenja ampak dovolj dober približek. Simulator ni namenjen za uživanje v letenju, temveč za učenje in pravilno ravnanje pilota ob določenih situacijah. In točno to je v tej raziskovalni nalogi ponujeno. Vsako uro letenja, ki je potrebna za uspešno vajo pilota je potrebno pokrit s prej naštetimi stroški, z mojim simulatorjem pa lahko letimo 1000 ur in to samo s stroškom elektrike. Ker smo v zadnjih letih priča velikemu globalnemu segrevanju zemlje, katerega posledica je onesnaževanje, je moja raziskovalna naloga rešitev, k zmanjšanju onesnaževanja okolja, ki ga povzroča letalski motor.