

Simulacija logičkih krugova u zrakoplovstvu

Kovačić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:518108>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

SIMULACIJA LOGIČKIH KRUGOVA U ZRAKOPLOVSTVU SIMULATION OF LOGIC CIRCUITS IN AVIATION

Mentor: doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Student: Luka Kovačić

JMBAG: 0135263003

Zagreb, rujan 2024.

Sažetak i ključne riječi

U radu su analizirani osnovni i izvedeni logički sklopovi i njihove funkcije. Na primjeru je prikazana primjena Booleove algebre u pojednostavljenju logičkih sklopova. Za simulacije logičkih sklopova je korišten program Logic.ly. Napravljene su simulacije logičkih sklopova sustava upozorenja stajnog trapa, pokretača APU-a i zrakoplovnog generatora. Analizirane su funkcije navedenih sklopova i važnost njihove primjene u zrakoplovstvu.

Ključne riječi: Logički krug, Booleova algebra, simulacija logičkih krugova, sustav upozorenja stajnog trapa, pokretač APU-a, zrakoplovni generator, Logic.ly.

Summary and keywords

Basic and derived logic gates and their functions are analyzed in the paper. The example shows the application of Boolean algebra in the simplification of logic circuits. The Logic.ly program was used for simulations of logic circuits. Simulations of the logic circuits of the landing gear warning system, the APU starter and the aircraft generator were made. The functions of the mentioned circuits and the importance of their application in aviation were analyzed.

Keywords: Logic circuit, Boolean algebra, simulation of logic circuits, landing gear warning system, APU starter, aircraft generator, Logic.ly.

Zagreb, 12. rujna 2024.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Zrakoplovni instrumenti**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7750

Pristupnik: **Luka Kovačić (0135263003)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Pilot**
Usmjerenje: **Vojni pilot**

Zadatak: **Simulacija logičkih krugova u zrakoplovstvu**

Opis zadatka:

Analizirati princip rada logičkih sklopova te zakone Booleove algebre.
Navesti karakteristične primjene logičkih krugova u zrakoplovstvu.
Simulirati logički krug upozorenja sustava stajnog trapa zrakoplova.
Simulirati logički krug pokretača APU-a. Simulirati logički krug zrakoplovnog generatora. Analizirati rezultate simulacija.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

doc. dr. sc. Jurica Ivošević

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. LOGIČKI SKLOPOVI I BOOLEOVA ALGEBRA.....	2
2.1 Osnovni logički sklopovi	2
2.2 Izvedeni logički sklopovi	4
2.3 Booleova algebra	6
2.4 Primjer pojednostavljenja sklopa primjenom Booleove algebre	7
3. LOGIČKI KRUGOVI U ZRAKOPLOVSTVU.....	9
4. SIMULACIJA LOGIČKOG KRUGA UPOZORENJA SUSTAVA STAJNOG TRAPA.....	11
4.1 Općenito o stajnom trapu	11
4.2 Sustav upozorenja stajnog trapa	12
4.3 Simulacija logičkog kruga	13
5. SIMULACIJA LOGIČKOG KRUGA POKRETAČA APU-a	15
5.1 Općenito o APU.....	15
5.2 Pokretanje pomoćnog izvora snage	17
5.3 Logički krug pokretača	17
6. SIMULACIJA LOGIČKOG KRUGA ZRAKOPLOVNOG GENERATORA.....	20
6.1 Općenito o zrakoplovnim generatorima	20
6.2 Logički krug zrakoplovnog generatora.....	21
7. ZAKLJUČAK	24
LITERATURA.....	25
POPIS SLIKA.....	27

1. UVOD

Logički sklopovi su postali dio naše svakodnevice. Koriste se u svim električnim uređajima, od najjednostavnijih poput digitalnog sata ili ključa za automobil pa sve do upravljanja naprednim sustavima poput Internacionalne svemirske postaje. Oni primaju informacije s ulazne strane, zatim ih procesuiraju i daju rješenje na izlaznoj strani. Današnji svijet je postao ovisan o tim sustavima. Stoga se nastoji performanse tih sustava dovesti do savršenstva.

Rad je podijeljen na sedam cjelina:

- Uvod
- Logički sklopovi i Booleova algebra
- Logički krugovi u zrakoplovstvu
- Simulacija logičkog kruga upozorenja sustava stajnog trapa
- Simulacija logičkog kruga pokretača APU-a
- Simulacija logičkog kruga zrakoplovnog generatora
- Zaključak

U drugom poglavlju su objašnjeni logički sklopovi i primjena Booleove algebre, u trećem poglavlju analizirani su logički krugovi u zrakoplovstvu. U četvrtom poglavlju je opisan stajni trap i prikazana simulacija sustava upozorenja vrata stajnog trapa. U petom poglavlju je opisan pomoćni izvor snage (APU), pokretač APU-a i prikazana simulacija sustava zaštite pri pokretanju, u šestom poglavlju je opisan zrakoplovni generator i simulacija kruga njegove zaštite. U zadnjem poglavlju su izneseni zaključci ovoga rada.

2. LOGIČKI SKLOPOVI I BOOLEOVA ALGEBRA



Logički sklopovi i Booleova algebra čine temelj digitalne elektronike, koja pokreće sve, od jednostavnih kalkulatora do složenih računala i komunikacijskih sustava. Mogu biti mehanički, elektromehanički, elektronički, kvantni, biološki, kemijski ili optički. [1] Bez ovih sklopova ne bi bilo moguće dizajnirati računalne sklopove obrade, pohrane i prijenosa podataka.

U elektroničkim sklopovima binarne znamenke 0 i 1 predstavljaju naponi na ulazima i izlazima logičkih sklopova. Ako na izlazu postoji napon znači da je uvjet sklopa ispunjen to jest izlaz postoji, ako na izlazu nema napona uvjet sklopa nije ispunjen pa se kaže da izlaz ne postoji. Stanje izlaza može oviti samo o trenutnom stanju ulaza, tada se radi o kombinacijskom sklopu, dok u sekvencionalnom sklopu ovisi i o unutaršnjem stanju sklopa. Kako bi sklop funkcionirao nužno je da ima dva moguća različita stanja. Najjednostavniji takvi sklopovi su sklopke koje mogu biti mehaničke, elektromehaničke (releji) ili elektroničke (diode i tranzistori). [2]

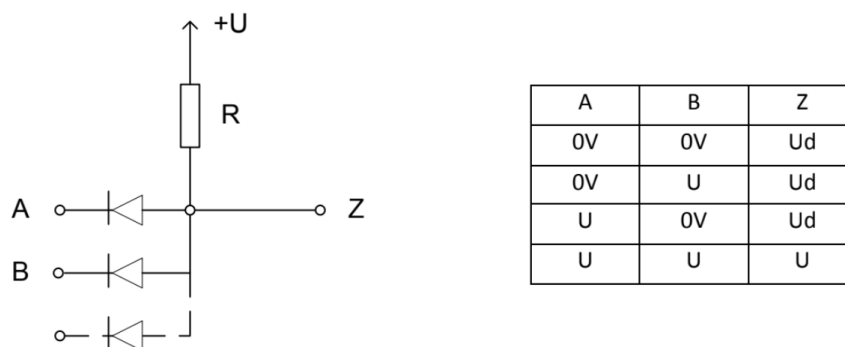
Za logičke sklopove se radi jednostavnije izrade shema koriste simboli. Najpoznatije standardizacije su prema ANSI-u (American National Standards Institute) i IEC-u (International Electrotechnical Commission). ANSI koristi samo oblike bez slova i na njih nadodaje kružić ako se radi o negaciji dok IEC koristi pravokutnike u kojima se prikazuje operacija koju izvodi. Na slikama ispod se mogu vidjeti simboli oba tipa standardizacije za svaku vrstu logičkog sklopa.

2.1 Osnovni logički sklopovi

Logički sklop „I“ ima pozitivan izlaz samo ako su svi ulazi pozitivni kao što se može vidjeti na Slici 1. Ako samo jedan od ulaza ima binarnu nulu izlaz će biti nula zato se još naziva logički produkt i koristi točka kao simbol množenja u Booleovom izrazu. Slika 2. prikazuje praktičnu izvedbu sklopa korištenjem dioda. Kada se na ulaz (A ili B ili oba) dovede stanje logičke nule odnosno napon 0 V tada će dioda provoditi struju. U tom je slučaju napon na izlazu (Z) jednak padu napona na diodi U_d . Napon U_d odgovara stanju logičke nule jer je relativno malen. U slučaju kada se na oba ulaza dovede napon (U) jednak logičkoj jedinici tada diode ne provode struju pa će napon na izlazu (Z) biti jednak naponu napajanja U. [3] Broj ulaza se može povećati dodavanjem dioda.

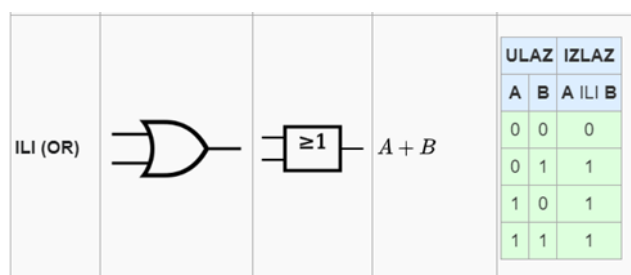
Operacija	Simbol (ANSI)	Simbol (IEC)	Booleov izraz	Tablica istine																		
I (AND)			$A \cdot B$	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">ULAZ</th><th>IZLAZ</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>A B</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></tbody></table>	ULAZ		IZLAZ	A	B	A B	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
ULAZ		IZLAZ																				
A	B	A B																				
0	0	0																				
0	1	0																				
1	0	0																				
1	1	1																				

Slika 1. Simboli i tablica istine za logički sklop „I“ [4]

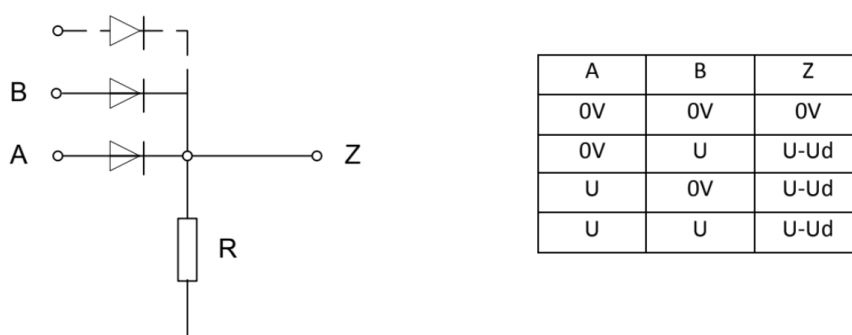


Slika 2. Praktična izvedba I sklopa [2]

Logički sklop „ILI“ ima uvjet da barem jedan od ulaza ili nekoliko njih ili svi imaju pozitivan napon kako bi izlaz bio pozitivan. Jedino u slučaju kada je na svim ulazima napon jednak nuli će i izlaz biti negativan kao što se vidi na Slici 3. Praktična izvedba ILI sklopa korištenjem dioda može se vidjeti na Slici 4. Kada se na oba ulaza (A i B) dovede napon jednak logičkoj nuli (0 V) tada diode ne provode struju te će napon na izlazu (Z) biti jednak logičkoj nuli (0 V). Ako se na barem jednu diodu dovede napon jednak logičkoj jedinici tada će ta dioda provoditi struju pa će i napon na izlazu (Z) biti jednak logičkoj jedinici. [5] Broj ulaza se može povećati dodavanjem dioda.



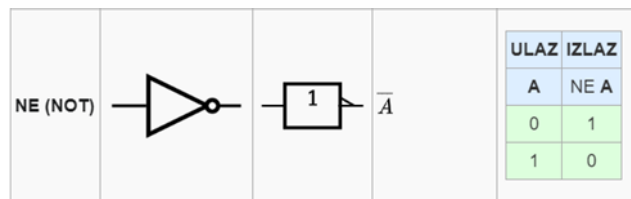
Slika 3. Simboli i tablica istine za logički sklop „ILI“ [4]



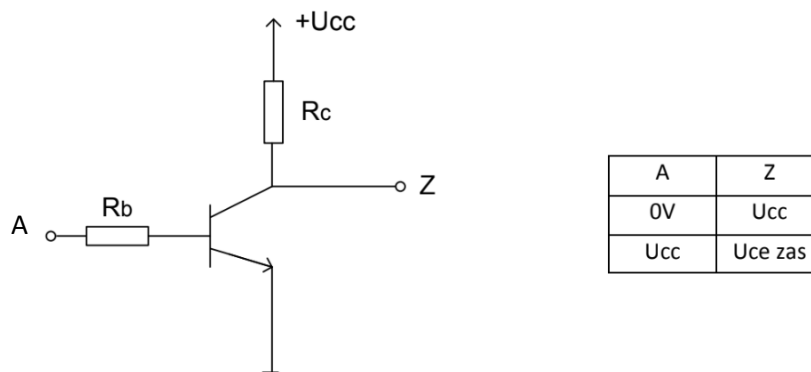
Slika 4. Praktična izvedba ILI sklopa [2]

Logički sklop „NE“ također poznat kao inverter obavlja logičku funkciju NE. Sklop ima samo po jedan ulaz i izlaz i na izlazu daje vrijednost obrnutu od one na ulazu (Slika 5.). Ako je primjerice na ulazu binarna vrijednost nula na izlazu će biti 1 i obrnuto. Na Slici 6. može se vidjeti praktična izvedba NE sklopa korištenjem tranzistora. Ulaz (A) je spojen na bazu

tranzistora te se pomoću njega upravlja vođenjem tranzistora. Na kolektor je spojeno napajanje, a na emiter masa. Kada se na ulaz (A) dovede napon jednak logičkoj nuli (0 V) tranzistor ne provodi struju pa je napon U_{cc} spojen direktno na izlaz (Z). Napon na izlazu je tada jednak naponu U_{cc} odnosno logičkoj jedinici. Kada se na ulaz (A) dovede napon jednak logičkoj jedinici (U_{cc}) tranzistor provodi struju direktno na masu. U tom slučaju je napon na izlazu (Z) jednak naponu između kolektora i emitera tranzistora u zasićenju ($U_{ce\ zas}$). Taj napon odgovara logičkoj nuli. [6]



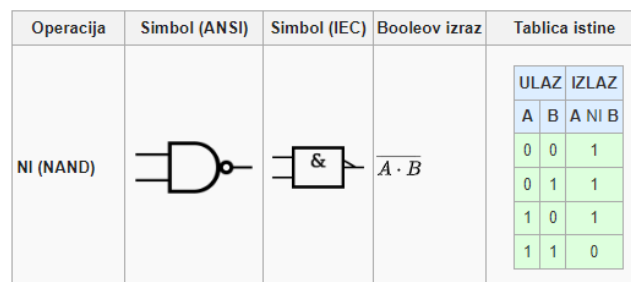
Slika 5. Simboli i tablica istine za logički sklop „NE“ [4]



Slika 6. Praktična izvedba NE sklopa [2]

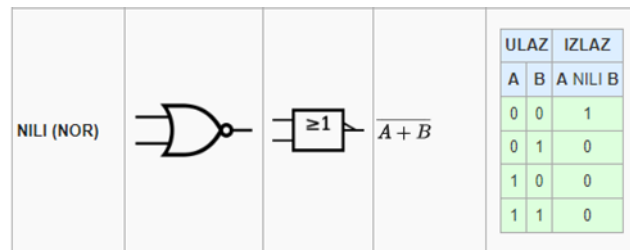
2.2 Izvedeni logički sklopovi

Logički sklop „NI“ obavlja logičku funkciju NI. Izlaz će biti pozitivan kad je barem jedan ili dva ili svi ulazi negativni. Izlaz će biti negativan jedino kada su svi ulazi pozitivni. NI sklop se sastoji od I sklopa čiji izlazi se zatim invertiraju NE sklopom. Na slici 7 može se vidjeti da su simboli NI sklopa isti kao I sklopa uz dodatak kružića po ANSI-u, kose crte po IEC-u i navučene crte u Booleovoj algebri.



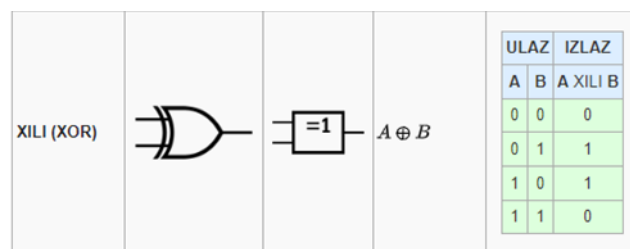
Slika 7. Simboli i tablica istine za logički sklop „NI“ [4]

Logički sklop „NILI“ obavlja logičku funkciju NILI. Sastoji se od ILI sklopa čiji se izlazi zatim invertiraju. Na slici 8 se može vidjeti da je simbolika ista kao kod ILI sklopa uz dodatke kružića i crta kao u NI sklopu. Izlaz NILI sklopa bit će pozitivan samo kada su svi ulazi negativni, ako je bilo koji od ulaza pozitivan izlaz će biti negativan.



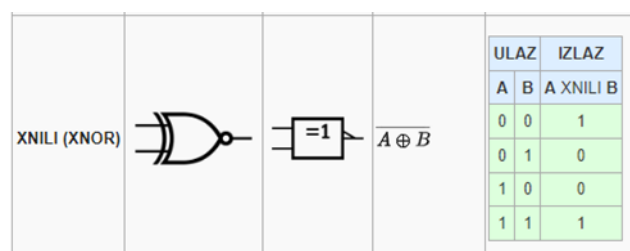
Slika 8. Simboli i tablica istine za logički sklop „NILI“ [4]

Logički sklop „XILI“ obavlja logičku funkciju XILI. Još se naziva „isključivo ILI funkcija“ jer je izlaz negativan ako su svi ulazi iste vrijednosti odnosno svi pozitivni ili svi negativni. Ukoliko je barem jedan od ulaza različite vrijednosti od drugih tada je izlaz pozitivan kao što se može vidjeti na slici 9.



Slika 9. Simboli i tablica istine za logički sklop „XILI“ [4]

Logički sklop „XNILI“ obavlja logičku funkciju XNILI. Još se naziva „isključivo NILI funkcija“ jer je izlaz pozitivan ako su svi ulazi pozitivni ili svi negativni. Ukoliko se barem jedan od ulaza razlikuje od ostalih tada je izlaz negativan (Slika 10.).



Slika 10. Simboli i tablica istine za logički sklop „XNILI“ [4]

Ovi jednostavni logički sklopovi se slažu u velike složene sklopove kako bi obavljali znatno složenije operacije kakve rade računala. Primjerice jedan računalni procesor može imati nekoliko milijuna logičkih sklopova.

2.3 Booleova algebra

Booleova algebra je grana matematike koja se bavi logičkim operacijama binarnih vrijednosti. Razvio ju je sredinom 19. stoljeća matematičar George Boole, a kasnije je postala temelj digitalne elektronike i računarstva. [1]

Koristi se za projektiranje digitalnih sklopova, poput onih koji se nalaze u sustavima avionike zrakoplova. Primjenom zakona Booleove algebre, složeni logički problemi mogu se pojednostaviti i optimizirati, što omogućuje korištenje manjeg broja sklopova za određenu operaciju ili obavljanje težih operacija s jednakim brojem sklopova.

U Booleovoj algebri varijable mogu imati samo dvije vrijednosti, predstavljene kao 0 i 1. Glavne operacije u Booleovoj algebri odgovaraju osnovnim logičkim sklopovima:

I (označeno točkom \cdot)

II (označeno plusom $+$)

NE (označeno crticom $\bar{\quad}$)

Temeljni zakoni Booleove algebre su [2]:

Zakon komutativnosti:

$$A + B = B + A \text{ (operacija II)}$$

$$A \cdot B = B \cdot A \text{ (operacija I)}$$

Zakon asocijativnosti:

$$A + (B + C) = (A + B) + C$$

$$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$$

Zakon distributivnosti:

$$A \cdot (B + C) = (A \cdot B) + (A \cdot C)$$

$$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$$

De Morganovi zakoni:

$$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

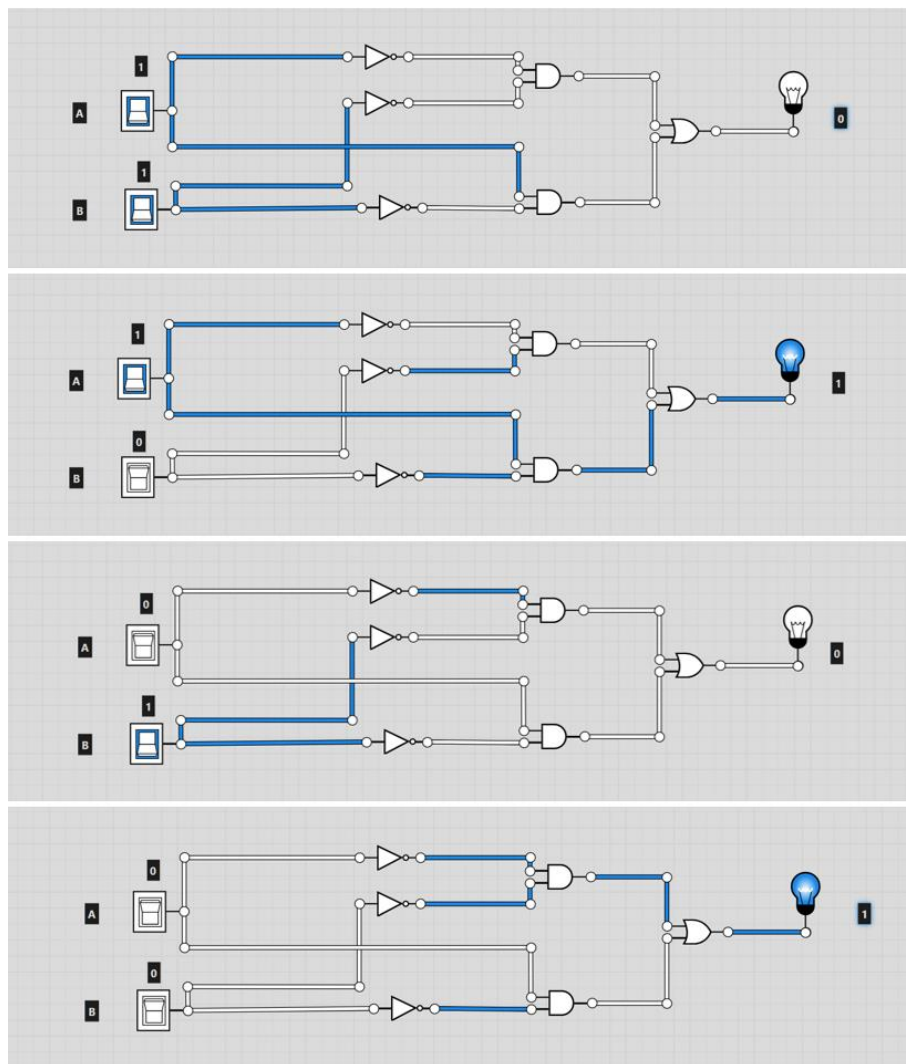
$$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$$

2.4 Primjer pojednostavljenja sklopa primjenom Booleove algebre

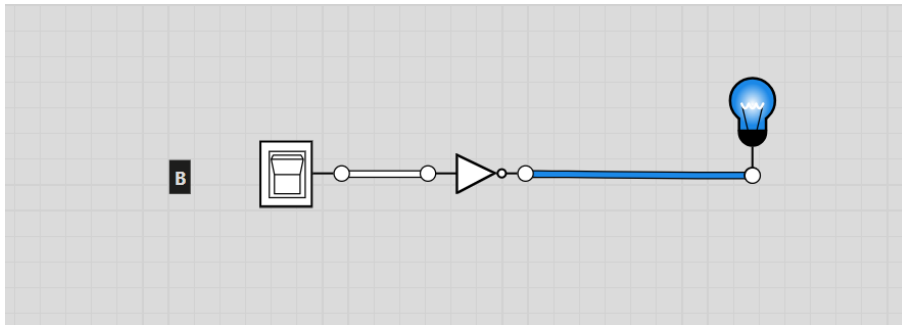
Ukoliko se za primjer uzme jednadžba ispod može se vidjeti da primjenom zakona distributivnosti možemo pojednostaviti jednadžbu na samo jednu operaciju. Na slici 11. se može vidjeti sklop koji predstavlja početnu jednadžbu i sastoji se od 6 sklopova. Također se mogu vidjeti izlazi za sve kombinacije ulaza što nam dokazuje da je pojednostavljenje točno, jer za svaki izlaz vrijedi da je invertirani B. Slika 12. prikazuje jednostavnost istog sklopa nakon primjene Booleove algebre.

Jednadžba logičkog sklopa:

$$\begin{aligned} Y &= \bar{A} \cdot \bar{B} + A \cdot \bar{B} \\ &= \bar{B} \cdot (\bar{A} + A) \\ &= \bar{B} \cdot 1 \\ &= \bar{B} \end{aligned}$$



Slika 11. Prikaz svih mogućih ulaznih i izlaznih vrijednosti jednadžbe



Slika 12. Prikaz istog sklopa nakon pojednostavljenja korištenjem Booleove algebre

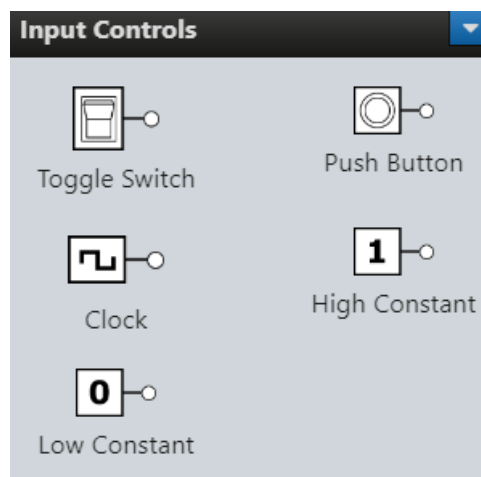
Pomoću ovih pojednostavljenja Booleovih izraza možemo smanjiti broj elektrokomponenti potrebnih za provedbu određene logičke operacije što smanjuje troškove. Na ovome primjeru se radi o smanjenju sa šest na jedan sklop odnosno 83,33 % manje sklopova.

3. LOGIČKI KRUGOVI U ZRAKOPLOVSTVU

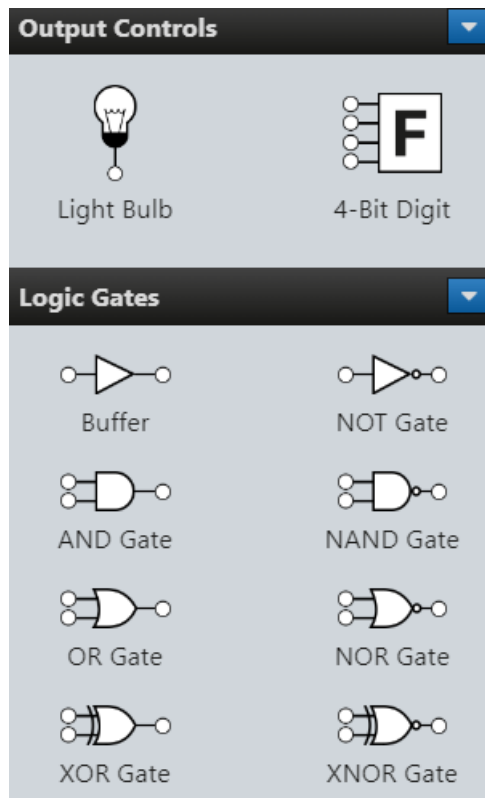
Logički krugovi imaju važnu ulogu u zrakoplovstvu jer omogućuju obradu velike količine informacija prikupljenih s osjetnika. Te obrađene informacije zatim prikazuju pilotu ili izdaju zapovijedi određenim sustavima. Na modernim putničkim i vojnim zrakoplovima bilo koji podatak ili pokret koji pilot ili osjetnik unese se prevodi u digitalni skup podataka koji zatim računalo (složeni logički sklop) obrađuje i na svome izlazu daje određenu vrijednost. Na primjer, računalo sustava upravljanja putem elektroničkih podataka (*Fly By Wire – FBW*) na ulaznoj strani dobiva podatak o pomaku pilotske palice i nožnih komandi a na izlaznoj izdaje naredbe aktuatorima krilaca, kormila dubine i kormila pravca. [7] Razvojem logičkih sklopova došlo je do zamjene mehaničkih sustava upravljanja čime je smanjena težina i potrebno održavanje. Zahvaljujući tome avioprijevoznici mogu smanjiti troškove i tako povećati zaradu.

Osim smanjenju troškova logički krugovi doprinose i sigurnosti. Mogu uspoređivati nekoliko ulaza informacija s nekoliko osjetnika, ako se jedan od ulaza ne podudara s ostalima bit će izostavljen a računalo će odluku donijeti koristeći ispravne ulaze. Pilot će također na prikazniku dobiti obavijest da jedan od osjetnika ne funkcionira.

U ovome radu se za prikaz i simulacije logičkih krugova koristi program Logic.ly. Program omogućuje sastavljanje logičkih sklopova korištenjem alata prikazanih na slikama 13. i 14. Na slici 13 se vide sklopka (Toggle switch) i gumb (Push button) koji se u koriste za ulazne vrijednosti poput sklopke stajnog trapa i gumba za pokretanje APU-a. Na slici 14. se vidi izlazna vrijednost u obliku žarulje (Light bulb) i sva logička vrata koja nudi program. Svaki od ovih alata se može „primiti“ mišem računala i postaviti na podlogu unutar programa, alati se zatim međusobno povezuju povlačenjem linija mišem.



Slika 13. Prikaz ulaznih alata u programu Logic.ly



Slika 14. Prikaz izlaznih alata i logičkih sklopova u programu Logic.ly

Programi poput ovoga su praktični za simulacije logičkih krugova jer na jednostavan način vizualno prikazuju određeni sklop i imaju mogućnosti interakcije s komponentama i modifikacije sklopa u bilo kojem trenutku.

4. SIMULACIJA LOGIČKOG KRUGA UPOZORENJA SUSTAVA STAJNOG TRAPA

4.1 Općenito o stajnom trapu

Stajni trap ili podvozje je dio zrakoplova namijenjen polijetanju, slijetanju i voženju (rulanju) aviona i helikoptera po manevarskim površinama. [8] Postoji više vrsta podjela podvozja. Neke od osnovnih su podjele prema rasporedu kotača, uvlačivosti i površini na kojoj se primjenjuje. Prema rasporedu kotača/nogu podvozja najpoznatiji su konvencionalni kojeg čine dva glavna noseća kotača ispod krila i jedan manji ispod repa (Slika 15.) i tricikl. Tricikl se sastoji od dva glavna noseća kotača i jednog naprijed koji služi za upravljanje na zemlji (Slika 16.). Omogućuje pilotima veliku preglednost i dobru upravljivost na zemlji te je povoljan za utovar i istovar tereta i putnika zbog čega je najzastupljeniji tip podvozja u komercijalnoj i vojnoj avijaciji danas.



Slika 15. The Panther [9]



Slika 16. Pilatus PC9-M [10]

Prema površini za slijetanje postoje plovci koji se koriste za slijetanja na vodu te posebne skije za slijetanje na snježne i ledene površine. Plovci mogu biti amfibijskog tipa što znači da mogu imati kotače koji se izvlače za slijetanje na uređene uzletno sletne staze. Osim navedenih postoje i neke specifične vrste podvozja poput monocikla koji koriste jedrilice i helikopterskih

skija. Postoje uvlačivi i neuvlačivi stajni trap. Prednosti neuvlačivog su manja težina, manje pokretnih dijelova, jednostavnost korištenja i manja cijena. Upravo zbog tih razloga se najviše koriste u generalnoj avijaciji. Uvlačivi stanji trap se više koristi u komercijalnoj avijaciji zbog manjeg otpora zraka što smanjuje potrošnju goriva pa tako i troškove i u vojsci tako što omogućuje let na većim brzinama upravo zbog smanjenog otpora.

4.2 Sustav upozorenja stajnog trapa

Sustav upozorenja stajnog trapa služi za informiranje pilota o položaju uvučenosti podvozja u svakom trenutku. Koristi senzore postavljene na svakoj nozi trapa koji šalju signal računalu sustava upozorenja. Pilotima je ovaj sustav od najveće važnosti netom nakon polijetanja i u prilazu za slijetanje. Nakon polijetanja pilot postavlja ručicu u gornji položaj kako bi uvukao trap i prati signalizaciju, kada se trap uvuče i vratašca zatvore sva svjetla signalizacije se isključe i pilot izjavljuje „lights out“ (svjetla ugašena) kako bi provjerio s drugim pilotom da imaju istu signalizaciju i mogu nastaviti s penjanjem. Ako se jedno ili sva svjetla ne ugase pilot će provjeriti položaj ručice i izvesti proceduru za nuždu ovisno o broju nogu/vratašca koje se nisu zatvorile. Po potrebi će prekinuti let i vratiti se na aerodrom polijetanja.

U prilazu za slijetanje pilot provjerava da je brzina manja od V_{LE} (maksimalna brzina pri kojoj je dozvoljeno izvlačenje trapa) i spušta ručicu u donji položaj. Zatim prati signalizaciju i čeka da se uključe tri zelena svjetla (Slika 17.) po tome zna da su sve tri noge trapa spuštene i zaključane u donjem položaju izjavljuje „three greens“ (tri zelene). Ukoliko se ne uključi jedna ili više zelenih lampica pilotima to indicira da se trap ili nije uopće izvukao ili se asimetrično izvukao nakon čega će prekinuti prilaz i pokušati izvući trap po proceduri za izvlačenje stajnog trapa u nuždi.

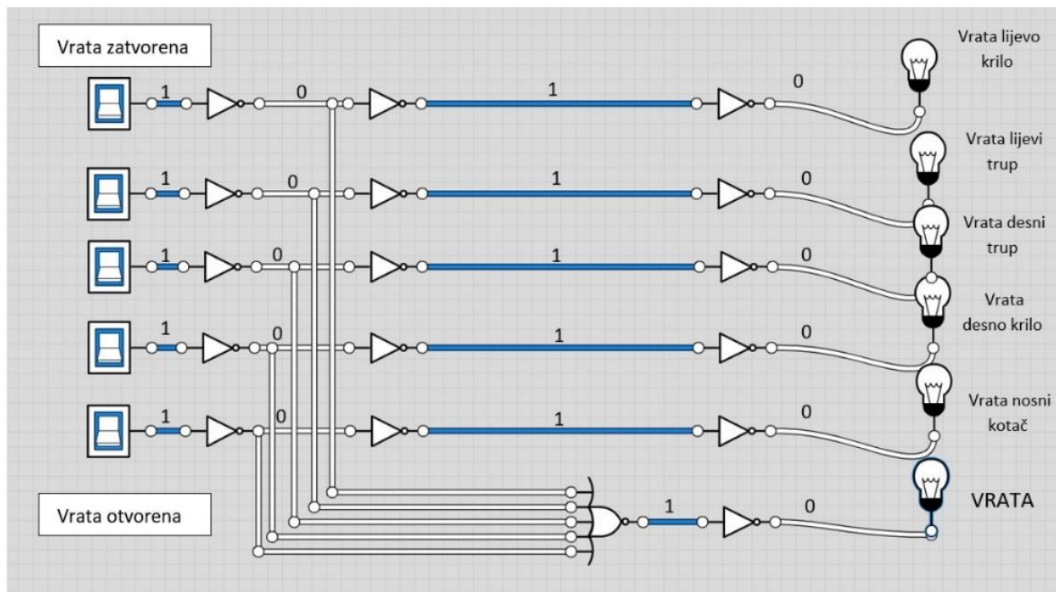


Slika 17. Ručica i indikacija stajnog trapa [11]

Sustav je integriran s ostalim računalima u zrakoplovu poput računala aerodinamičkih podataka (*Air Data Computer – ADC*) te po potrebi može dati zvučnu i vizualnu signalizaciju. Ukoliko na primjer pilot pokuša spustiti ručicu trapa u donji položaj pri brzini većoj od V_{LE} sustav neće odraditi izvlačenje trapa a pilotu će se uključiti vizualno upozorenje praćeno zvučnom signalizacijom.

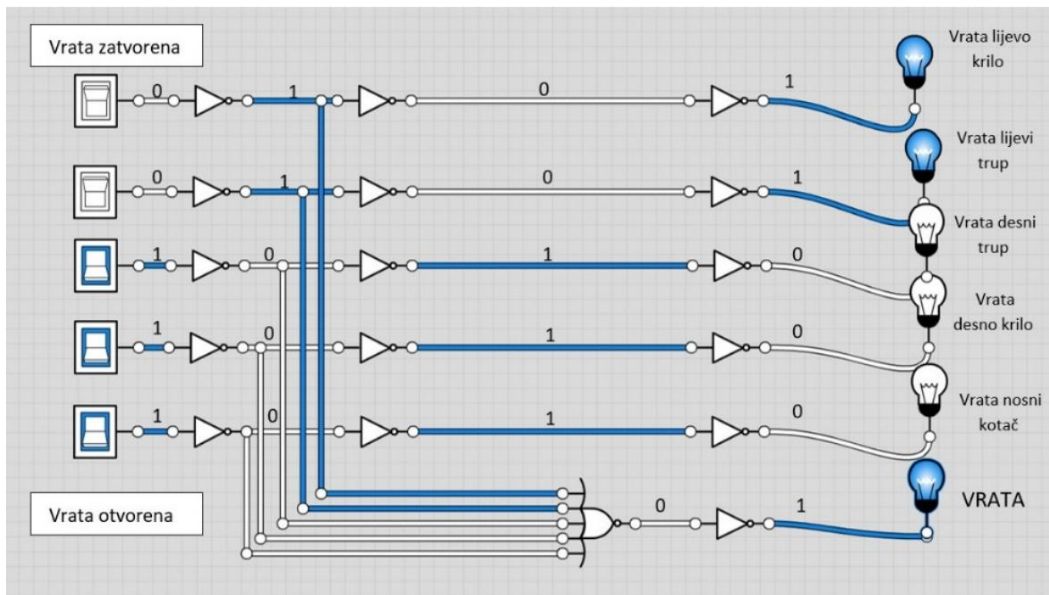
4.3 Simulacija logičkog kruga

Za simulaciju se koristi sustav upozorenja stajnog trapa za zrakoplov s 5 vrata koja svaka imaju svoj indikator i jedan glavni (master) indikator. Za primjer je uzet zrakoplov koji ima po jedan indikator za svaka vrata stajnog trapa. Na slici 18. može se vidjeti da se radi o lijevim i desnim vratima na krilima i trupu te jednim vratima nosnog kotača. Kada su sva vrata zatvorena (sve noge trapa uvučene) tada niti jedna lampica neće svijetliti. Kada su barem jedna od vrata otvorena svijetlit će njihova indikacija i glavni indikator. Indikatori pojedinih vrata se nalaze iznad glave pilota dok se glavni nalazi ispred pilota. Kada su neka od vrata otvorena pilot će najprije uočiti glavnu indikaciju i zatim podići pogled i vidjeti o kojim se točno vratima radi.



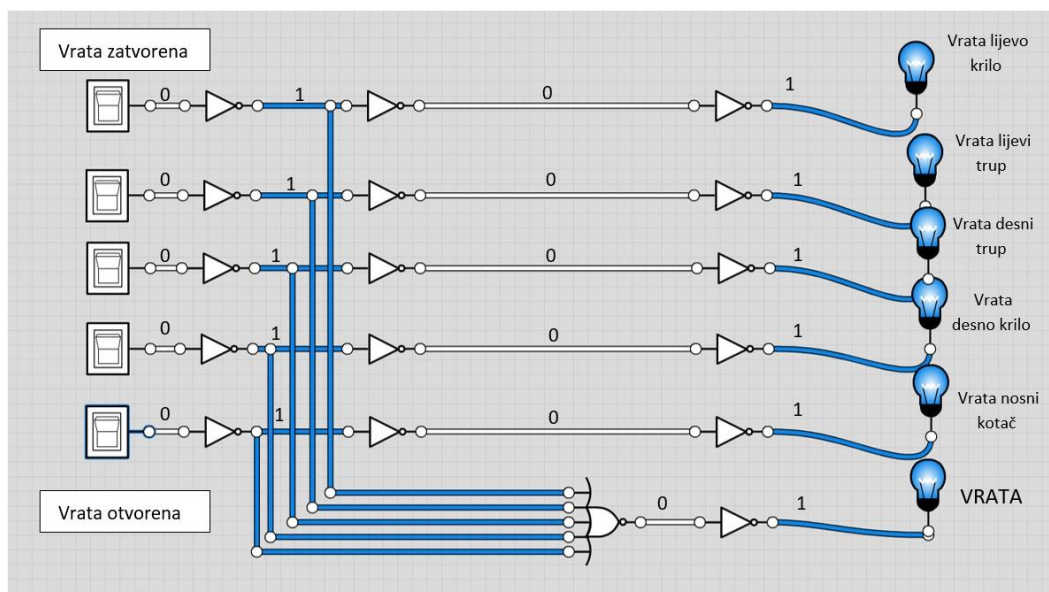
Slika 18. Shematski prikaz logičkog kruga stajnog trapa

Na slici 18. se može vidjeti da su osjetnici svih vrata u poziciji zatvoreno i daju logički 1. Na indikatorima pojedinih vrata su logičke 0 pa nema svjetlosne signalizacije. Na NILI sklopu se nalaze sve logičke nule pa niti glavni indikator ne svijetli.



Slika 19. Prikaz indikacije kada su dvoja vrata otvorena

Na slici 19. se može vidjeti da su osjetnici (sklopke) vrata lijevog krila i trupa u poziciji otvoreno. Može se vidjeti kako je ispunjen uvijet NILI sklopa zbog čega osim indikacije lijevog krila i trupa svijetli i glavni indikator.



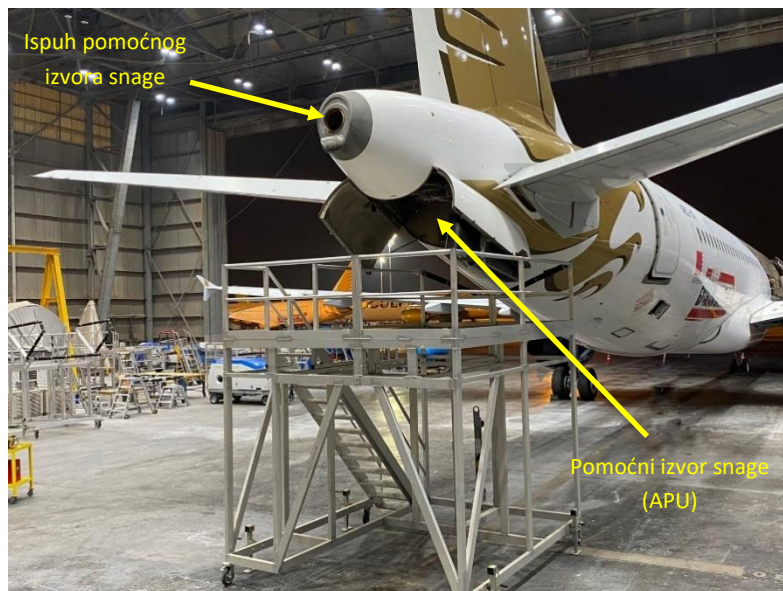
Slika 20. Prikaz indikacije kada su sva vrata otvorena

Na slici 20. može se vidjeti da su sve sklopke u poziciji otvoreno i posljedično sve indikacije svijetle uključujući glavni indikator.

5. SIMULACIJA LOGIČKOG KRUGA POKRETAČA APU-a

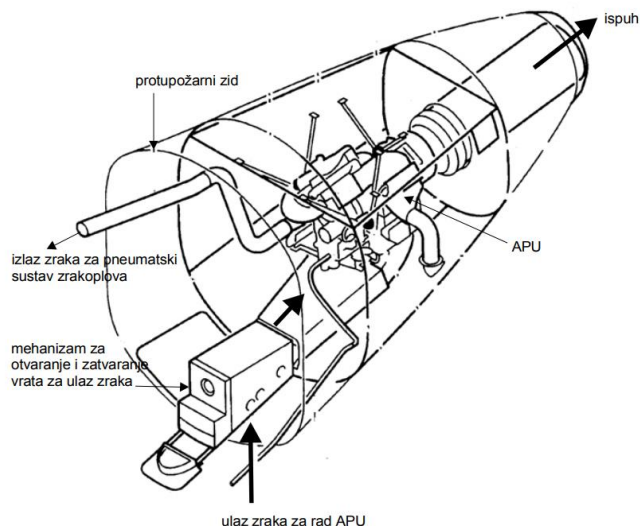
5.1 Općenito o APU

Auxiliary power unit (APU) ili pomoćni izvor snage je turbinski motor koji napaja sustave zrakoplova kada ne rade glavni motori ili vanjski izvor napajanja. Najčešće se nalazi u repu zrakoplova (Slika 21.), odvojen od ostatka zrakoplova protupožarnim zidom (Slika 22.). [12] Može biti smješten i u prostoru podvozja kao na vojnom transportnom zrakoplovu Lockheed C-130 Hercules. Relativno je malen u usporedbi s pogonskim motorima. APU je jednovratilni turbinski motor čije vratilo preko reduktora pokreće generator izmjenične struje i jedan stupanj radnog kompresora zraka. Generirana struja je standardna izmjenična struja u zrakoplovstvu napona 115 V i frekvencije 400 Hz. Napaja rasvjetu, avioniku, klimatizaciju i druge elektropotrošače prije pokretanja glavnih motora. Kompresor zraka stvara tlak zraka koji se dovodi do mlaznih motora pri pokretanju i za sustav klimatizacije.



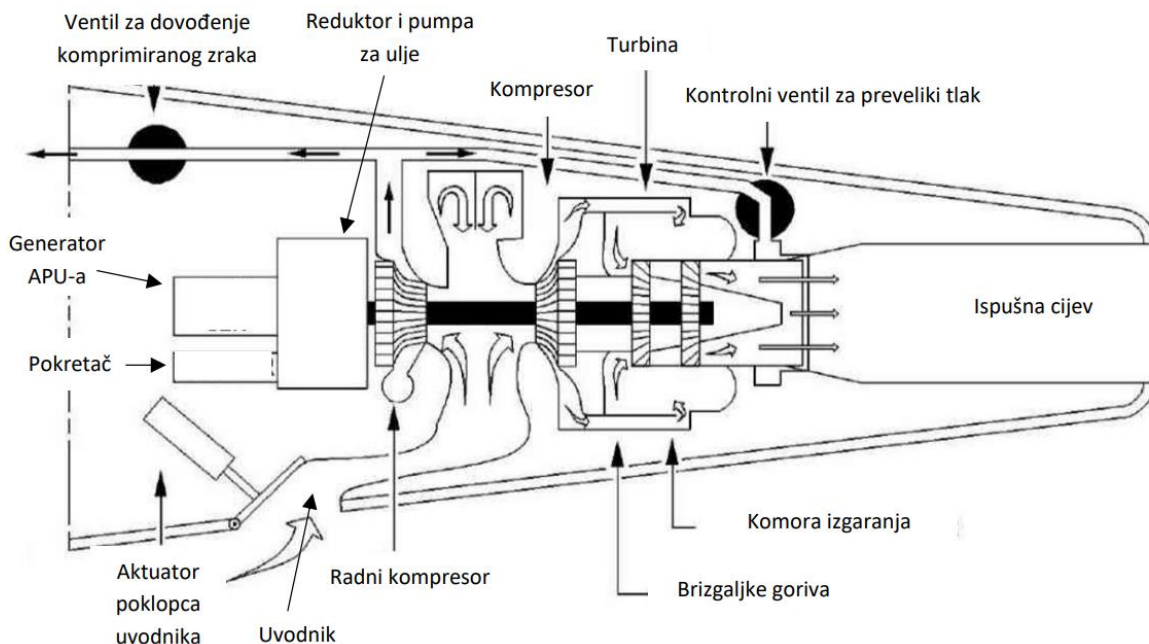
Slika 21. Rep zrakoplova sa otvorom za održavanje APU-a [13]

Ugradnjom pomoćnog pogonskog sustava omogućava se nezavisnost od zemaljske infrastrukture pri pokretanju i radu zrakoplovnih sustava na zemlji. Zahvaljujući tome zrakoplovne kompanije mogu odabrati destinacije koje nisu opremljene vanjskim izvorima snage za prihvat većih putničkih zrakoplova. U zraku pomoćni pogonski sustav omogućava operacije pri MMEL (Master minimum equipment list) i ETOPS (Extended-range Twin-engine Operations Performance Standards) uvjetima. [14]



Slika 22. APS 3200 [14]

Na slici 23 može se vidjeti APS 3200 (Auxiliary power system) koji se koristi na zrakoplovu Airbus A320. Neki proizvođači cijeli sustav (motor, reduktor, generator i pokretač) nazivaju APS a samo turbovratilni motor APU. Pomoćni izvor snage radi neovisno o glavnim motorima, po potrebi se može pokrenuti i u letu ukoliko na primjer otkáže jedan od generatora na glavnim motorima.



Slika 23. Dijelovi APU-a (APS 3200) [12]

APU ima vlastiti uvodnik zraka kroz koji se zrak dovodi do kompresora. APS 3200 sa slike 23. ima dva stupnja radijalnog kompresora, lijevi (radni) komprimira zrak za sustave zrakoplova i ventil za prevelik tlak. Desni komprimira zrak koji zatim ulazi u komoru izgaranja gdje se miješa s gorivom i zapaljuje. Nakon komore izgaranja zrak prolazi kroz dvostupanjsku

aksijalnu turbinu gdje zrak ekspandira i pretvara svoju kinetičku energiju u rotaciju turbine. Nakon turbine zrak prolazi kroz ispuh u atmosferu. Okretni moment turbine okreće vratilo koje pokreće kompresor i reduktor. Reduktor koristi zupčanike kako bi smanjio okretaje vratila na okretaje koji su potrebni za normalan rad AC generatora. Pored generatora se nalazi elektropokretač APU-a koji preko multiplikatora (sklop reduktora ali u ovome smjeru povećava broj okretaja) okreće vratilo prilikom pokretanja pomoćnog izvora snage.

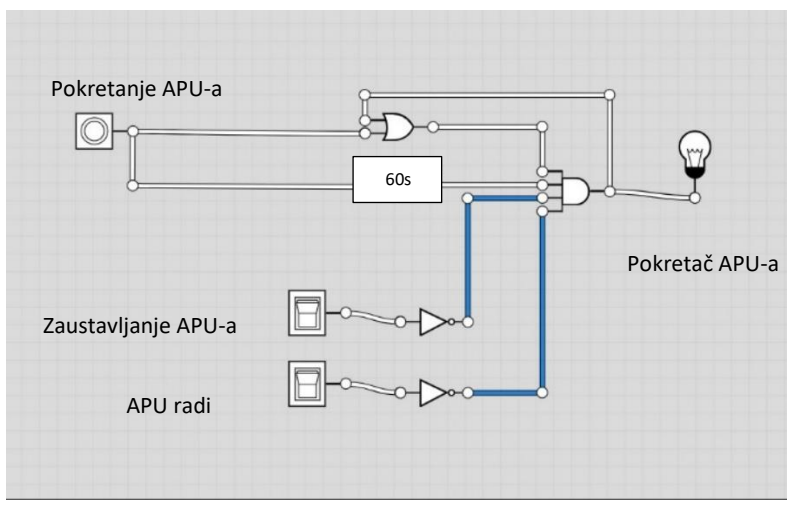
Za pokretanje glavnih motora komprimirani zrak s radnog kompresora cjevovodom dolazi do zračnog turbinskog pokretača (Air turbine starter) koji je putem kvačila i reduktora vezan na vratilo motora. [14] Turbinski pokretač stvara okretni moment potreban za pokretanje motora. Osim rotacije vratila za uspješno pokretanje motora potrebno je i da se zapali smjesa. Za to se koriste svjećice koje napaja AC generator iz APU-a. Dio zraka iz radnog kompresora odlazi u regulator temperature zraka gdje se miješa s okolnim zrakom te potom ulazi u kabinu.

5.2 Pokretanje pomoćnog izvora snage

Za pokretanje pomoćnog izvora snage koristi se DC elektropokretač nazivnog napona 24 V koji se napaja iz akumulatora ili vanjskog izvora električne energije. Elektropokretač stvara zakretni moment koji okreće vratilo, otvara se ventil koji propušta gorivo na brizgaljke. Brizgaljke ubrizgavaju gorivo u komoru izgaranja gdje svjećice zapaljuju gorivo. Produkti izgaranja zatim preko turbine zakreću vratilo. Kada broj okretaja vratila dosegne 60 % maksimalnog broja okretaja isključuju se svjećice i elektropokretač jer je APU postigao samoodrživi broj okretaja, a na 99 % postaje spreman za uporabu. [12]

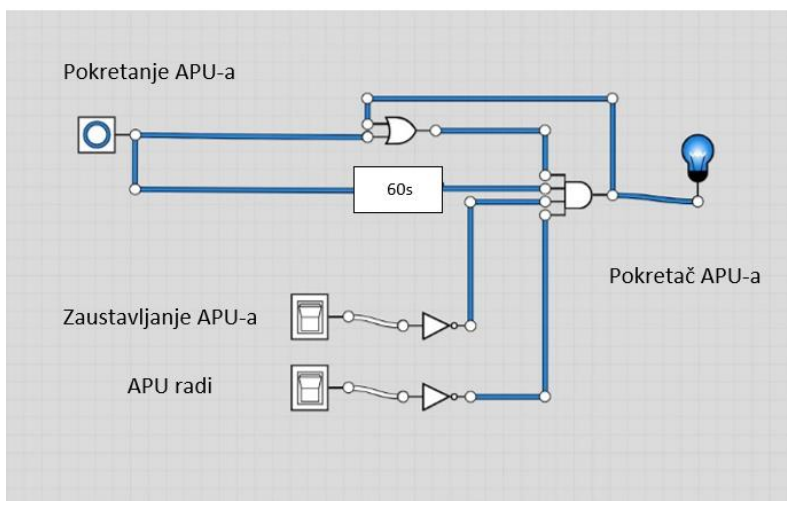
5.3 Logički krug pokretača

Logički krug pokretača ima tri ulaza i jedan izlaz (Slika 24.). Ulazi su tipkalo za pokretanje, zaustavljanje i osjetnik rada APU-a. Pritiskom na tipku „Pokretanje APU-a“ aktivira se monostabilni multivibrator koji 60 s na svome izlazu daje logičku jedinicu. Monostabilni multivibrator je elektronički impulsni sklop koji ima dva stanja. Jedno stanje je stabilno, a drugo kvazistabilno, u njega prelazi vanjskom pobudom odnosno u ovome slučaju pritiskom na tipku za pokretanje. Monostabilni multivibrator u kvazistabilnom stanju ostaje onoliko vremena koliko je određeno sklopom. [2] Na izlazu se nalazi elektropokretač APU-a koji je aktivan pri logičkoj jedinici. Uvjet za logičku jedinicu je da su ulazi I sklopa pozitivni odnosno da je pritisnut gumb za pokretanje, da nije pritisnut gumb za zaustavljanje i da APU ne radi.



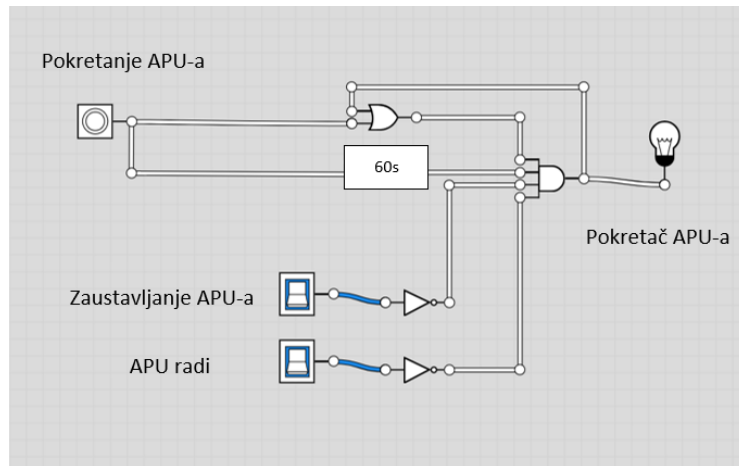
Slika 24. Logički sklop pokretača

Na slici 24. se može vidjeti da elektropokretač ne radi, tipkalo za pokretanje nije pritisnuto u posljednjih 60 s kao ni tipkalo za zaustavljanje. Na ulazu I sklopa se nalaze po dvije logičke nule i jedinice što znači da uvjet nije ispunjen pa se tako i na izlazu nalazi nula.



Slika 25. Pokretanje APU-a pritiskom na tipku za pokretanje

Na slici 25. se može vidjeti da je pilot pritisnuo tipkalo za pokretanje dok APU ne radi pa su zadovoljeni svi uvjeti za rad elektropokretača. Nakon isteka vremena od 60 s monostabil će se vratiti na početno stanje i elektropokretač će se isključiti (Slika 24.).



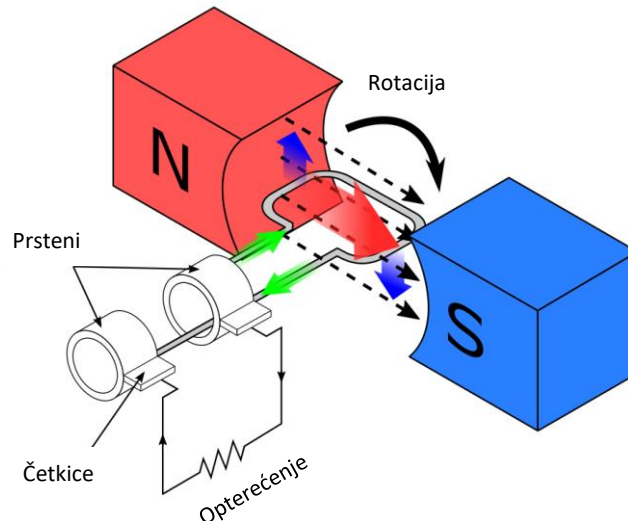
Slika 26. Zaustavljanje rada APU-a

Slika 26. prikazuje logički sklop kada je pritisnuto tipkalo za zaustavljanje rada APU-a. Na logički sklop NE u tome slučaju dolazi logička jedinica koja se zatim invertira u logičku nulu. Na I sklopu tada nije ispunjen uvjet te pokretač ne radi. Kada se rad APU-a zaustavi, na ulazima zaustavljanja i rada APU-a će se pojaviti logičke nule koje će postati jedinice na ulazu I sklopa (jer ih invertira NE sklop) i time omogućiti ponovno pokretanje pod uvjetom da se pritisne tipkalo za pokretanje.

6. SIMULACIJA LOGIČKOG KRUGA ZRAKOPLOVNOG GENERATORA

6.1 Općenito o zrakoplovnim generatorima

Generatori su uređaji koji služe za pretvorbu energije. Zahvaljujući magnetskoj indukciji moguće je mehaničku energiju rotacije pretvoriti u električnu energiju. Prema vrsti struje generatori se dijele na generatore istosmjerne (DC) i izmjenične (AC) struje. [15]



Slika 27. Princip rada AC generatora [16]

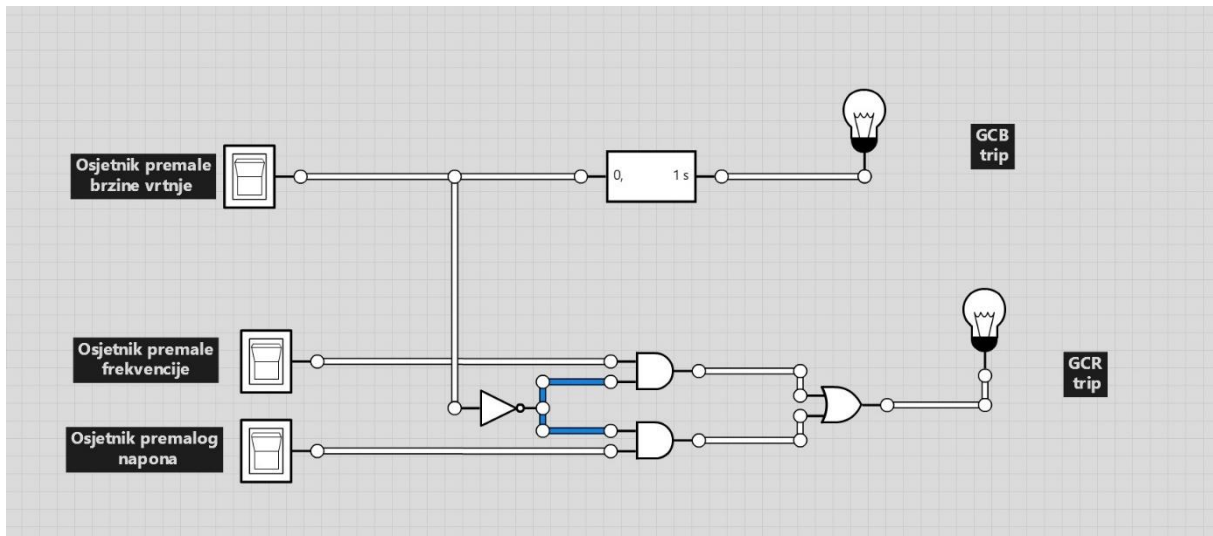
Na slici 27. se može vidjeti pojednostavljeni prikaz generatora izmjenične struje. Osnovni dijelovi AC generatora su stator (u ovome slučaju permanentni magnet (induktor)), rotor (indukt) i klizni kontakti (četkice i prsteni). [15] Generatori rade na principu elektromagnetske indukcije. Rotacijom zavojnice kroz magnetsko polje inducira se napon u zavojnici koja se odvodi kliznim kontaktima prema potrošačima. Ovisno o izvedbi može se rotirati induktor (magnetsko polje), u tome slučaju je zavojnica (indukt) statična. Energiju rotacije rotor dobiva od motora s kojima je povezan mehaničkom vezom.

Za potrebe zrakoplovnih mreža malih zrakoplova se najčešće koriste DC generatori napona 28 V dok se na velikim zrakoplovima koriste AC generatori napona 115 V i frekvencije 400 Hz. Generatori su glavi izvor napajanja električnom energijom za vrijeme leta, napajaju sustave poput avionike, rasvjete, navigacije i klimatizacije. Nalaze se uz glavne motore i APU (Slika 23.) zbog lakšeg prijenosa zakretnog momenta.

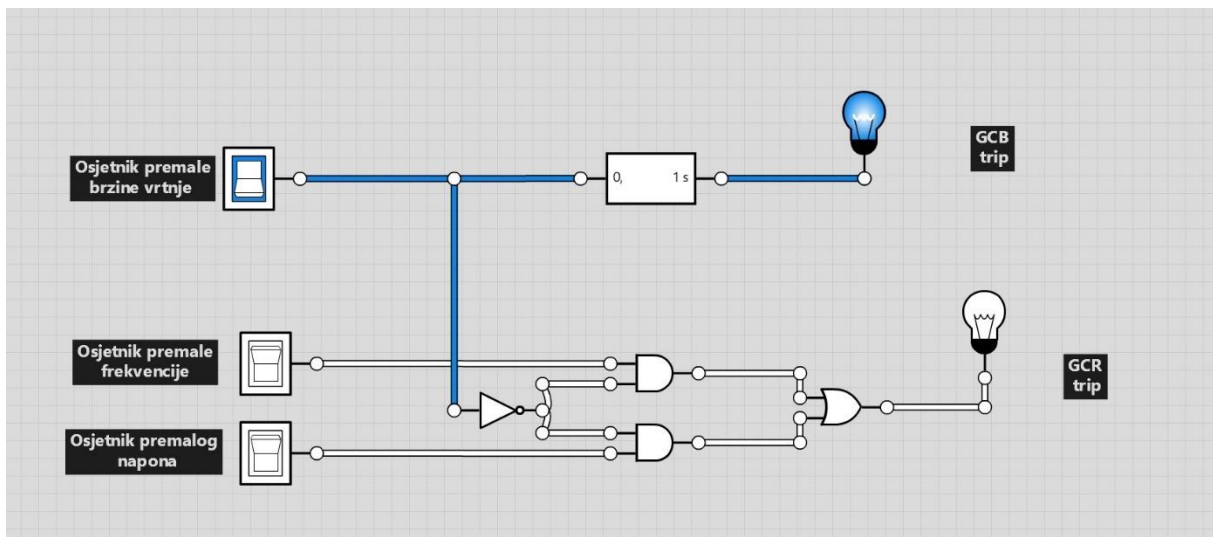
Zbog specifičnih eksploatacijskih zahtjeva u zrakoplovstvu generatori, za razliku od običnih, imaju veći omjer snage po jedinici težine i veću pouzdanost zahvaljujući korištenju kvalitetnijih materijala u izradi. [15]

6.2 Logički krug zrakoplovnog generatora

Logički krug zrakoplovnog generatora se sastoji od triju ulaza (osjetnika) i dva izlaza. Na ulazima se nalaze osjetnici brzine vrtnje generatora, premale frekvencije i premalog napona (Slika 28.). Osjetnik premale brzine je spojen preko monostabilnog multivibratora na GCB (Generator Circuit Braker) koji u slučaju premale brzine prekida strujni krug generatora. Osjetnici premale frekvencije i napona su putem dva I sklopa vezana za invertiranu vrijednost osjetnika premale vrtnje, a izlazi tih I sklopova su međusobno vezani III sklopom. Ako je uvjet III sklopa ispunjen generira se GCR signal prekida strujnog kruga.

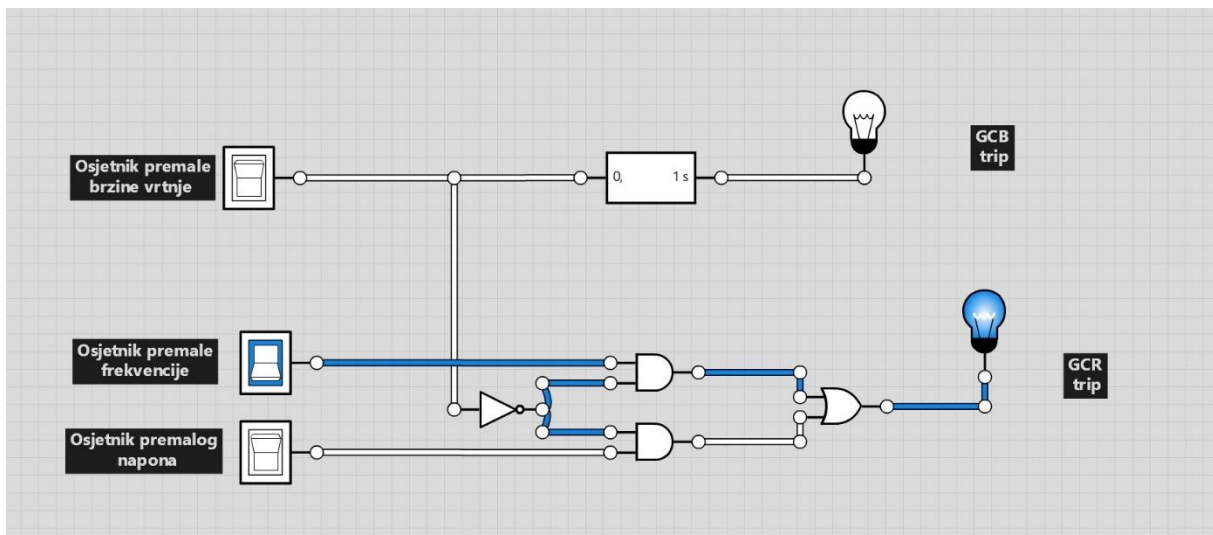


Slika 28. Prikaz logičkog kruga zrakoplovnog generatora



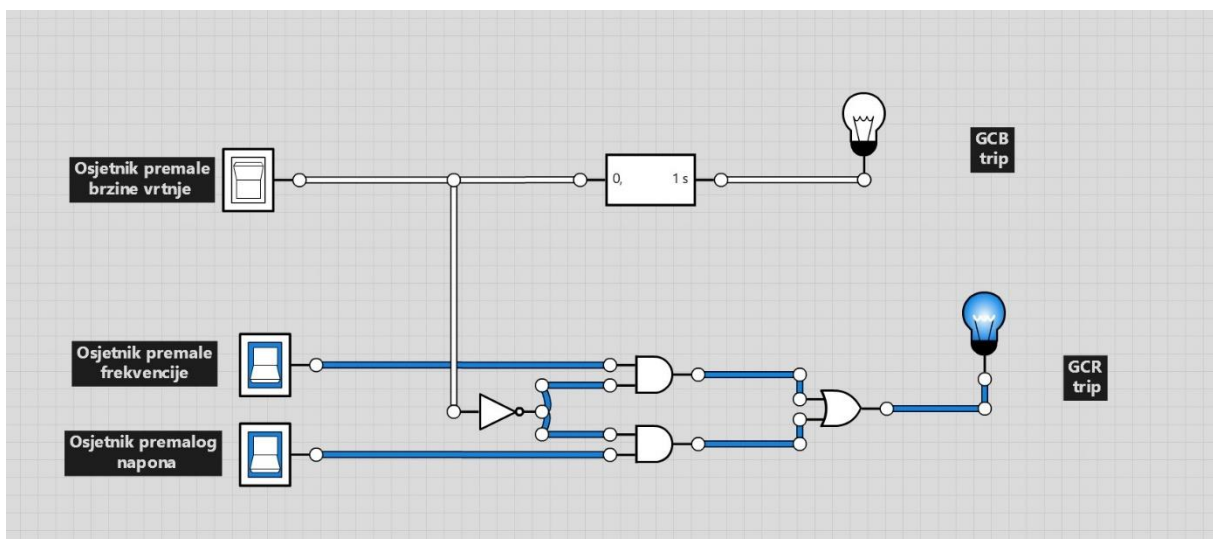
Slika 29. Prikaz sklopa pri premaloj brzini vrtnje generatora

Slika 29. prikazuje sklop u slučaju kada je brzina vrtnje generatora manja od minimalne dopuštene. Osjetnik premale brzine daje logičku jedinicu koja preko monostabila prekida strujni krug generatora.



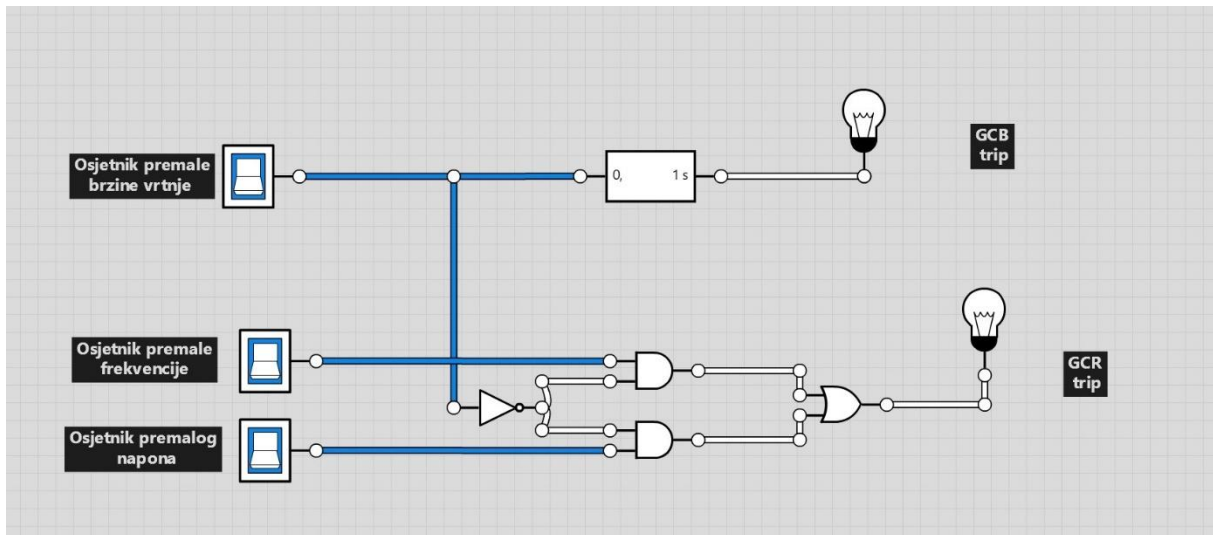
Slika 30. Prikaz sklopa pri premaloj frekvenciji

Na slici 30. se može vidjeti da je brzina vrtnje generatora iznad minimalne dopuštene pa osjetnik brzine daje logičku nulu. Logička nula se invertira NE sklopom pa na oba I sklopa dolazi jedinica. U ovome slučaju osjetnik premale frekvencije daje logičku jedinicu (frekvencija je manja od dopuštene) što znači da je ispunjen uvjet I sklopa. Logička jedinica dolazi na Ili sklop I tako ispunjava njegov uvjet te generira GCR signal prekida strujnog kruga.



Slika 31. Prikaz sklopa pri premaloj frekvenciji I naponu

Zahvaljujući Ili sklopu GCR signal prekida strujnog kruga će se generirati ako je ispunjen uvjet na bilo kojem ili oba I sklopa. Na slici 31. se može vidjeti kako je ispunjen uvjet na oba I sklopa jer su i napon i frekvencija manji od dopuštenih a brzina vrtnje iznad minimalne dopuštene.



Slika 32. Prikaz sklopa kada brzina vrtnje padne prije frekvencije i napona

Na slici 32. se može vidjeti da je osjetnik premale brzine vrtnje detektirao premalu brzinu i prekinuo strujni krug prije nego što su osjetnici frekvencije i napona detektirali premale vrijednosti. Upravo zbog toga nisu ispunjeni uvjeti I sklopova.

7. ZAKLJUČAK

Zadatak ovoga rada bio je prikazati simulacije triju odabranih logičkih krugova iz zrakoplovstva. U radu su opisani i prikazani logički krugovi sustava upozorenja stajnog trapa, pokretača pomoćnog izvora snage i zrakoplovnog generatora.

Prikazani su osnovni i izvedeni logički sklopovi te njihovi simboli po ANSI i IEC standardizaciji. Pojašnjena je Booleova algebra i njena važnost u pojednostavljivanju (optimizaciji) logičkih sklopova. Iz prikazanog primjera se može vidjeti da se primjenom Booleove algebre mogu znatno pojednostaviti sklopovi a time i smanjiti troškovi proizvodnje.

Programi za simulacije logičkih krugova imaju veliku važnost pri projektiranju budućih sklopova jer omogućuju testiranje i promjene svih funkcija sklopa. U ovome radu se za izradu simulacija koristio program Logic.ly.

Logički sklop sustava upozorenja stajnog trapa je važan za sigurnost leta jer pilota izvješćuje o stanju uvučenosti stajnog trapa. Logički krug pokretača pomoćnog izvora snage pomaže u smanjenju radne opterećenosti pilota jer omogućuje pilotu da samo pritisne tipku za pokretanje, a logički krug zatim provjerava jesu li ispunjeni uvjeti za obavljanje te radnje. Logički krug zrakoplovnog generatora je autonomni sustav koji prekida strujni krug kada detektira premale vrijednosti broja okretaja, napona ili frekvencije.

Ovaj rad prikazuje logičke sklopove koji se koriste u sustavima zrakoplova za obavljanje funkcija indikacije, upravljanja i zaštite. Razumijevanje i primjena logičkih sklopova i Booleove algebre ključni su za izradu sigurnih i učinkovitih sustava zrakoplova.

LITERATURA

- [1] Wikipedia. *Boolean algebra*. Preuzeto s: [https://en.wikipedia.org/wiki/Boolean_algebra_\(structure\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Boolean_algebra_(structure)) [Pristupljeno: 25.kolovoza 2024.]
- [2] Ivošević J. *Avionika*. [Prezentacija] Avionika i IFR letenje. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2024.
- [3] CARNET. *Logički sklop I realiziran preko elektroničkih komponenata*. Preuzeto s: <https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/mod/book/view.php?id=1339267&chapterid=190435> [Pristupljeno: 10. rujna 2024.]
- [4] Wikipedia. *Logički sklopovi*. Preuzeto s: https://hr.wikipedia.org/wiki/Logički_sklopovi [Pristupljeno: 22. kolovoza 2024.]
- [5] CARNET. *Logički sklop III realiziran preko elektroničkih komponenata*. Preuzeto s: <https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/mod/book/view.php?id=1339267&chapterid=190459> [Pristupljeno: 10. rujna 2024.]
- [6] CARNET. *Logički sklop NE realiziran preko elektroničkih komponenata*. Preuzeto s: <https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/mod/book/view.php?id=1339267&chapterid=190498> [Pristupljeno: 10. rujna 2024.]
- [7] Ivetić M. *Izrada modela sustava upravljanja Fly-by-wire*. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2023. Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:645646> [Pristupljeno: 23. kolovoza 2024.]
- [8] Petrović M. *Analiza mehanizma stajnog trapa zrakoplova*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2009. Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:850064> [Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.]
- [9] Kitplanes. *The Panther*. Preuzeto s: <https://www.kitplanes.com/on-the-prowl/> [Pristupljeno: 27. kolovoza 2024.]
- [10] Jet photos. *Pilatus PC-9M*. Preuzeto s: <https://www.jetphotos.com/photo/9110136> [Pristupljeno: 25. kolovoza 2024.]
- [11] Aviation stack exchange. *Is the landing gear controlled by the pilot or is it automatic?*. Preuzeto s: <https://aviation.stackexchange.com/questions/26703/is-the-landing-gear-controlled-by-the-pilot-or-is-it-automatic> [Pristupljeno: 23. kolovoza 2024.]
- [12] Dukarić M. *Proračun eksploatacijskih parametara APU-a na zrakoplovu Airbus A320*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2018. Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:099277> [Pristupljeno: 21. kolovoza 2024.]
- [13] No bolt. *A320 APU Access Platform*. Preuzeto s: <https://nobolt.com.au/new-product-launch-a320-apuaccess-platform/> [Pristupljeno: 21. kolovoza 2024.]

- [14] Domitrović A. *Pomoćni pogonski sustav*. [Prezentacija] Zrakoplovni pogonski sustavi II. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. 2023.
- [15] Bucak T. *Zrakoplovni elektrosustavi*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2022.
- [16] Savree. *Alternating Current Generator*. Preuzeto s: <https://savree.com/en/encyclopedia/synchronous-ac-generators> [Pristupljeno: 29. kolovoza 2024.]

POPIS SLIKA

Slika 1. Simboli i tablica istine za logički sklop „I“ [4]	2
Slika 2. Praktična izvedba I sklopa [2]	3
Slika 3. Simboli i tablica istine za logički sklop „LI“ [4].....	3
Slika 4. Praktična izvedba LI sklopa [2]	3
Slika 5. Simboli i tablica istine za logički sklop „NE“ [4].....	4
Slika 6. Praktična izvedba NE sklopa [2].....	4
Slika 7. Simboli i tablica istine za logički sklop „NI“ [4].....	4
Slika 8. Simboli i tablica istine za logički sklop „NILI“ [4]	5
Slika 9. Simboli i tablica istine za logički sklop „XLI“ [4].....	5
Slika 10. Simboli i tablica istine za logički sklop „XNILI“ [4]	5
Slika 11. Prikaz svih mogućih ulaznih i izlaznih vrijednosti jednadžbe	7
Slika 12. Prikaz istog sklopa nakon pojednostavljenja korištenjem Booleove algebre	8
Slika 13. Prikaz ulaznih alata u programu Logic.ly	9
Slika 14. Prikaz izlaznih alata i logičkih sklopova u programu Logic.ly	10
Slika 15. The Panther [9]	11
Slika 16. Pilatus PC9-M [10]	11
Slika 17. Ručica i indikacija stajnog trapa [11]	12
Slika 18. Shematski prikaz logičkog kruga stajnog trapa	13
Slika 19. Prikaz indikacije kada su dvojna vrata otvorena	14
Slika 20. Prikaz indikacije kada su sva vrata otvorena	14
Slika 21. Rep zrakoplova sa otvorom za održavanje APU-a [13]	15
Slika 22. APS 3200 [14].....	16
Slika 23. Dijelovi APU-a (APS 3200) [12]	16
Slika 24. Logički sklop pokretača.....	18
Slika 25. Pokretanje APU-a pritiskom na tipku za pokretanje	18
Slika 26. Zaustavljanje rada APU-a.....	19
Slika 27. Princip rada AC generatora [16]	20
Slika 28. Prikaz logičkog kruga zrakoplovnog generatora.....	21
Slika 29. Prikaz sklopa pri premaloj brzini vrtnje generatora	21
Slika 30. Prikaz sklopa pri premaloj frekvenciji.....	22
Slika 31. Prikaz sklopa pri premaloj frekvenciji I naponu	22
Slika 32. Prikaz sklopa kada brzina vrtnje padne prije frekvencije i napona	23

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ Završni rad _____
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom _____ Simulacija logičkih krugova u zrakoplovstvu _____, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student:

U Zagrebu, ___11.09.2024. ___

Luka Kovačić
(ime i prezime, potpis)