



ANALYSIS OF ALTERNATIVE CONTROL OPTIONS FOR THE ROTAX 915 IS ENGINE

Jana Plochová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Kristína Šajbanová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This article focuses on analyzing the possibilities of alternative management of the ROTAX 915 IS aircraft engine using the ECU MASTER electronic control unit. The article examines how the use of ECU MASTER could become a beneficial alternative to the traditional manufacturer's control system. The new control system would ensure lower costs for purchasing ECU and reduce the number of sensors required to operate the engine. This would achieve a lower weight of the entire system, which is very important for aircraft in terms of fuel efficiency and cost savings.

Keywords

Engine control unit, ROTAX 915, mixture control, regulation, sensors, optimization.

1. ÚVOD

V dnešnej dobe je stále dôležité hľadať efektívnejšie riešenia v mnohých oblastiach, kde sa využíva technika a technológia. Jednou z oblastí, ktorá sa ním zaoberá, je aj letecký priemysel, kde každá malá zmena môže mať vplyv na bezpečnosť a účinnosť letu. V súčasnosti sa pri vývoji leteckých motorov kladie dôraz na ich efektívnosť a spoľahlivosť, aby sa minimalizovali emisie a náklady na prevádzku. V tomto článku sa zameriame na analýzu možností alternatívneho riadenia motora ROTAX 915 IS, ktorý sa používa na pohon najmä ultra-ľahkých lietadiel. Cieľom článku je preskúmať možnosti nahradenia pôvodnej riadiacej jednotky od výrobcu ROTAX novou jednotkou ECU MASTER, s cieľom zvýšiť efektívnosť a jednoduchosť prevádzky motora. V úvodnej časti článku sa budeme venovať teoretickým základom týkajúcich sa motora. Ďalej popíšeme použitý letecký motor ROTAX 915 IS, jeho sústavu a riadiacu jednotku od výrobcu ROTAX. Následne predstavíme novú riadiacu jednotku ECU MASTER a jej možnosti. V záverečnej časti článku si vysvetlíme možnosti jej implementácie do motorových systémov.

2. MOTOR ROTAX 915 IS

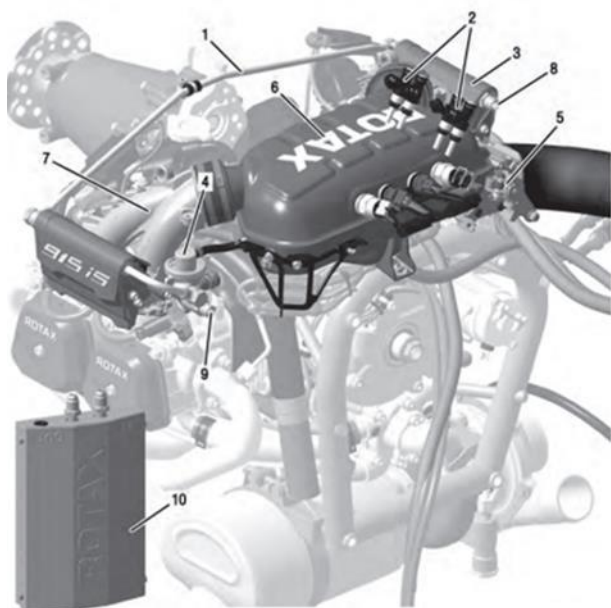
Motor ROTAX 915 IS bol vyvinutý na základe dopytu po modernom a výkonnejšom motore. Tento motor je vhodný pre ťažšie lietadlá, väčšie vlničky a malé helikoptéry. Jeho maximálna prevádzková výška je 23 000 stôp a plný výkon si udržuje až do výšky 15 000 stôp. V roku 2017 sa dostal do sériovej výroby a v roku 2015 bol predstavený na leteckých dňoch v Oshkosh v štáte Wisconsin. Najvýkonnejšou verziou z rady motorov ROTAX 915 je motor ROTAX 915 iSc C24. Tento motor má maximálny výkon 141hp pri 5800rpm a maximálny trvalý výkon 135hp pri 5500rpm. Motor je štvortaktný, turbom preplňovaný a má štyri kvapalinou a vzduchom chladené hlavy valcov. Jeho valce sú usporiadané v protíľahom smere a pokryté vrstvou nikasilu, čo zvyšuje ich odolnosť a životnosť. Motor má tiež väčšie kľukové čapy a kované piesty, ktoré zvyšujú životnosť piestov. Dolná časť piestov je dodatočne chladená olejom. Motor ROTAX 915 iSc C24 má tiež prepracovanú prevodovku a používa nový systém riadenia motora (EMS). Tento systém zahŕňa mód "ECO", ktorý

automaticky spustí pri výkone pod 97% a ochudobňuje zmes pre čo najnižšiu spotrebu. EMS tiež automaticky stiahne dáta z motora po každom lete a pošle ich do firmy ROTAX na vyhodnotenie a zvýšenie predikcie zlyhania motora [1] [2].

2.1. Sústavy motora ROTAX 915 IS

2.1.1. Palivová sústava

Tento motor sa líši od modelu ROTAX 912 iSc tým, že obsahuje turbodúchadlo, ktoré pomáha pri tvorbe zmesi. Palivová sústava je vybavená dvojitém vstrekovaním paliva, ktoré je riadené elektronickou jednotkou ECU. ECU dokáže vyhodnotiť optimálnu veľkosť vstrekovanej dávky a tiež počiatočnú fázu vstrekovania. Palivo sa dodáva do systému cez palivový filter a zachytávač vody a putuje do elektrických palivových čerpadiel. Hlavné palivové čerpadlo je vždy aktívne za chodu motora a je plne riadené pomocou ECU. Pomocné/záložné palivové čerpadlo je používané v prípade poruchy hlavného čerpadla, prípadne pri vzlete alebo pristáti. Za čerpadlami sa nachádza jemný palivový filter a taktiež snímač tlaku paliva, ktorý poskytuje informáciu o tlaku paliva v systéme pre ECU. Motor dosahuje vysoký výkon pri relatívne nízkej spotrebe paliva vďaka elektronickému systému vstrekovania paliva. ECU berie do úvahy kľúčové vstupné premenné, ako sú poloha škrtiacej klapky, otáčky motora, teplota nasávaného vzduchu, okolitý tlak, tlak v potrubí a teplotu výfukových plynov. Tieto údaje sa využívajú na výpočet optimálneho množstva paliva. Palivový systém je tiež vybavený regulátorom tlaku paliva, ktorý zabezpečuje konštantný tlakový rozdiel v palivových tryskách a v sacom potrubí, čím sa umožňuje vstrekovať rovnaké množstvo paliva nezávisle od režimu motora [3] [4].



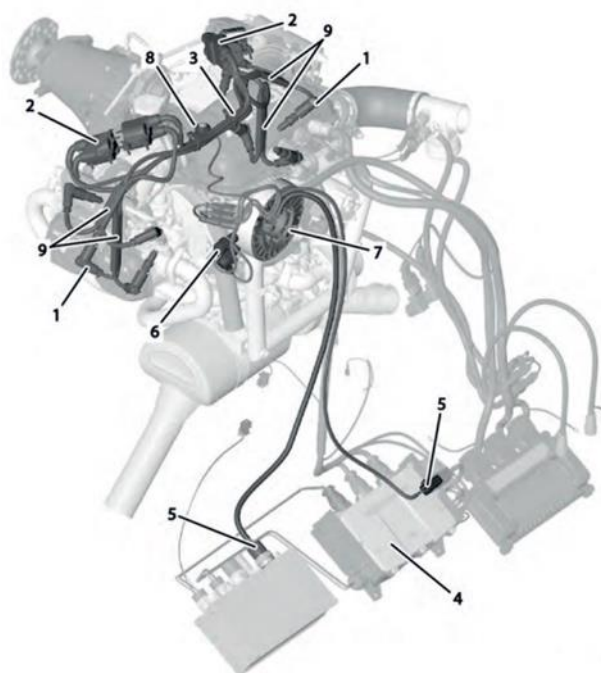
Obrázok 1 - Palivová sústava [1].

Tabuľka 1 - Palivová sústava [1].

1. Súprava palivového potrubia	6. Vzduchové potrubie
2. Palivové trysky	7. Nasávacie potrubie
3. Rozdeľovač paliva	8. Rozdeľovač paliva
4. Regulátor tlaku paliva	9. Rozdeľovač paliva výstupné potrubie
5. Teleso škrtiacej klapky	10. Zostava palivového potrubia

2.1.2. Zapaľovacia sústava

Zapaľovacia sústava leteckého motora 915 iSc C24 má dvojité zapaľovanie, kde každý valec disponuje dvoma zapaľovacími sviečkami. Sústava umožňuje tri módy aktivácie sviečok, vrátane módu "ON", kde sú aktívne všetky sviečky, a módu "LANE A" alebo "LANE B", kde sa používa len jedna sviečka na valec. Energia sa vytvára vo vnútorných generátoroch A a B, ktoré sú napojené na kľukový hriadeľ. Pri normálnom režime generátor A dodáva energiu do dvojitého zapaľovania, zatiaľ čo generátor B nabíja batériu. V prípade, že motor beží na voľnobehu, zapaľovacia sústava využíva energiu z generátora B. Elektronická riadiaca jednotka (ECU) riadi zapaľovanie pomocou senzorov, ktoré určujú pozíciu a rýchlosť rotácie kľukového hriadeľa. Systém obsahuje aj senzor klepania motora, ktorý deteguje frekvenciu detonácie a zabezpečuje ochranu motora pred poškodením. ECU spracováva údaje z týchto senzorov a na základe databázy od výrobcu vyhodnocuje optimálny čas zapálenia zmesi. Na výrobu vedenia vysokého napätia pre zapaľovací systém sa použili zliatiny medi kvôli ich nižšiemu odporu a vyššej odolnosti voči teplu. Systém zapaľovania je takmer celkom odolný voči opotrebeniu, pretože ECU generuje a spracováva zapaľovacie signály elektronicky. Celkový systém zapaľovania je navrhnutý tak, aby zabezpečil optimálny chod motora a jeho bezpečnú prevádzku [3] [4].



Obrázok 2 - Zapaľovacia sústava [1]

Tabuľka 2 - Zapaľovacia sústava [1]

1. Konektor zapaľovacej sviečky	6. Snímač kľukového hriadeľa
2. Dvojité zapaľovacie cievky	7. Generátor A a B
3. Zostava zapaľovacieho kábla	8. Senzor klepania motora
4. Zostava poistkovej skrinky	9. Silikónový obal zo sklenených vlákien
5. Konektor na 24V a AC-DC konvektor	

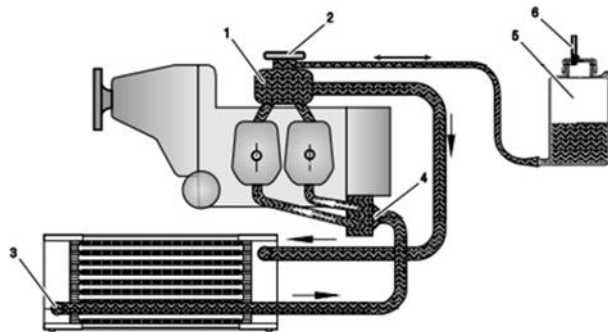
2.1.3. Olejová sústava

Olejová sústava je dôležitou súčasťou leteckého motora, ktorá zabezpečuje jeho mazanie, chladenie, tesnenie a ochranu povrchov. Systém používa suchú skriňu, kde zásoba oleja sa nachádza v nádrži mimo motora. Ideálny olej pre mazanie je SAE 10 W-40 od výrobcu Shell s označením AeroShell Sport Plus 4, ktorý má najlepšie vlastnosti pri normálnych a vysokých prevádzkových teplotách a možno ho použiť s rôznymi typmi palív. Olejový tok zabezpečujú trochoidné olejové čerpadlá, ktoré sú poháňané vačkovým hriadeľom a sú vybavené integrovaným regulátorom tlaku. Prvé čerpadlo nasáva olej z olejovej nádrže cez olejový chladič a tlačí ho cez olejový filter do mazacích bodov, zároveň obstrekuje spodnú stranu valcov. Druhé čerpadlo slúži na mazanie turbodúchadla a používa oddelenú olejovú vetvu. Hlavnú olejovú vetvu využíva hydraulický regulátor, ktorý ovláda uhol vrtule. Na odvodu oleja z olejovej sústavy sa používa systém odvodu oleja v nádrži. Tepelný a tlakový senzor merajú stav olejovej sústavy a poskytujú údaje pre pilota. Systém bol navrhnutý s cieľom dosiahnuť čo najvyššiu spoľahlivosť a udržať čo najnižšiu hmotnosť. Olejová sústava motora ROTAX 915 iSc C24 je preto dôležitým prvkom, ktorý zabezpečuje bezproblémový chod leteckého motora [3] [4].

2.1.4. Chladiaca sústava

Chladiaci systém leteckého motora je navrhnutý s cieľom efektívne odvádzať teplo vytvorené počas spaľovania paliva. Na

tento účel sa používa kvapalina na chladenie hláv valcov a nápor vzduchu na chladenie bloku a valcov. Chladiaci systém je uzavretý okruh, ktorý pozostáva z expanznej nádoby, vodného čerpadla a chladiča. Vedenia sú tvorené hadicami, ktoré môžu byť z gumy alebo silikónu. Vodná pumpa poháňaná pomocou vačkového hriadeľa zabezpečuje tok chladiacej kvapaliny. Tá preteká cez chladič, následne je nasávaná vodnou pumpou a tlačaná do hláv valcov. Odtiaľ sa dostáva späť do expanznej nádoby. Expanzná nádoba má tlakový uzáver a tlakový ventil, ktorý odvádza nadbytočnú kvapalinu do prepadovej nádoby v prípade prekročenia maximálneho tlaku. Senzor teploty kvapaliny meria teplotu priamo na hlave valca. Na chladenie sa nepoužíva čistá destilovaná voda, ale kvapalina s bodom varu minimálne 125°C. Maximálny tlak v sústave je 1,2 bar a maximálny objem nezahriatej kvapaliny musí byť 1,5 litra. Prietok kvapaliny pri 5800rpm je 70 l/min. Hadice z gumy majú životnosť 5 rokov, silikónové sú obmedzené iba opotrebovaním a vymenia sa až vtedy, keď nie sú vhodné pre prevádzku [3] [4].



Obrázok 3 - Schéma chladiacej sústavy [7]

Tabuľka 3 - Chladiaca sústava [7]

1. Expanzná nádrž	3. Chladič	5. Prepadoú nádrž
2. Tlakový uzáver	4. Vodné čerpadlo	6. Odvzdušňovač

2.1.5. Elektrická sústava

Systém leteckého motora ROTAX 915 IS obsahuje elektrickú sústavu, ktorá zabezpečuje dodávku elektrickej energie pre EMS a ostatné systémy. Elektrický systém pozostáva z generátorov, poistkovej skrine s regulátormi a vnútorných generátorov. Generátory sú od seba izolované a poháňané sú pomocou kľukového hriadeľa. Poistková skriňa manažuje elektrickú energiu a rozhoduje, či EMS bude napájaná pomocou jedného z generátorov alebo vonkajšieho zdroja elektrickej energie. ECU rozhoduje, ktorý generátor bude napájať EMS a pri štartovaní motora sa EMS napája z vonkajšieho zdroja elektrickej energie. Po naštartovaní motora sa generátor číslo dva používa ako zdroj pre EMS, zatiaľ čo generátor číslo jedna sa používa ako zdroj pre iné systémy motora. V prípade nefunkčnosti generátora číslo jedna, ECU automaticky použije generátor číslo dva ako zdroj pre EMS. V prípade motora ROTAX 915 iSc C24 má systém dva vývody elektrickej energie - prvý vývod je používaný na napájanie lietadla a má nominálne napätie 24V DC, zatiaľ čo druhý vývod má nominálne napätie 12V DC a je používaný na napájanie EMS. Zdrojom pre tieto vývody je menič striedavého prúdu na jednosmerný prúd, ktorý je zásobovaný pomocou trojfázového striedavého prúdu z generátorov a 24V batérie. V prípade potreby naštartovania motora je zdrojom elektrickej energie pre EMS batéria s napätím 24V, ktoré je regulované

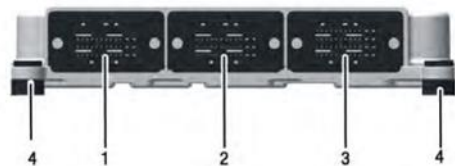
regulátorom na 12V. Po nadobudnutí požadovaných otáčok sa systém stáva samostatným a nepotrebuje vonkajší zdroj elektrickej energie [3] [4].

2.1.6. Systém riadenia motora (EMS)

Systém riadenia leteckého motora (EMS) je zložený z rôznych častí, vrátane ECU, zapaľovacej a vstrekovacej sústavy, senzorov, ovládacích prvkov a káblov. ECU je hlavnou súčasťou EMS a pozostáva z dvoch modulov - LANE A a LANE B. EMS má funkcie riadenia zapaľovania, vstrekovania paliva, detekcie porúch a manažmentu generátorov. V prípade poruchy sa systém automaticky prepne na funkčný modul na riadenie motora. Celý systém je zodpovedný za správne fungovanie leteckého motora a jeho bezpečné používanie [3] [4].

2.1.7. Elektronická riadiaca jednotka (ECU)

Elektronická riadiaca jednotka (ECU) je kľúčovým prvkom systému riadenia leteckého motora. Tento systém neustále zaznamenáva množstvo parametrov motora, vrátane tlaku, otáčok, teploty, záťaže a klepania, ktoré sa následne prenášajú do ECU. Digitálna riadiaca jednotka v ECU následne spracováva tieto dáta a vyhodnocuje optimálne nastavenie zmesi paliva, časovania vstrekovania a zapaľovania pre každý valec motora. Systém riadenia motora pozostáva z dvoch variantov - Lane A a Lane B, ktoré používajú rôzne senzory na meranie parametrov motora. Lane A používa senzory na detekciu tlaku v turbodúchadle, vonkajšieho tlaku, tlaku a teploty v rozdeľovači, teplotu výfukových plynov, vonkajšie teploty, pozíciu príпустi, klepania motora, teplotu chladiacej kvapaliny a rýchlosť otáčania kľukového hriadeľa. Na druhej strane, Lane B používa senzory na meranie tlaku v turbodúchadle, vonkajšieho tlaku, tlaku a teploty v rozdeľovači, tlaku a teploty oleja a rýchlosti otáčania kľukového hriadeľa. Vďaka ECU pilotovi stačí nastaviť, koľko percent výkonu potrebuje, a ECU automaticky zohľadní všetky podmienky a prispôbi nastavenie motora. Táto technológia zvyšuje efektívnosť a spoľahlivosť leteckých motorov a zabezpečuje ich bezproblémový chod [3] [4].



Obrázok 4 - Elektronická riadiaca jednotka ECU [1]

Tabuľka 4 - Elektronická riadiaca jednotka ECU [1]

1. Konektor zásuvky pre "LANE A1"	3. Konektor zásuvky pre "LANE B"
2. Konektor zásuvky pre "LANE A2"	4. Upevňovacie body

2.1.8. Výstupné ústrojenstvo

Výstupné ústrojenstvo odvádza výfukové plyny z valcov spaľovacieho motora a zabezpečuje optimálny priebeh spaľovacieho procesu. Systém pozostáva z viacerých komponentov, ako je výfukové potrubie, turbodúchadlo, tlmič výfuku a snímače teploty. Výfukové plyny sú zhromaždené v systéme a privádzané na turbínovú stranu, kde je poloha ventilu riadená ECU. Tlmič výfuku zlepšuje akustický komfort a snímače teploty slúžia na monitorovanie teploty a určenie optimálneho pomeru zmesi. Údržba a kontroly sú dôležité pre optimálnu funkčnosť a celkovú účinnosť spaľovacieho motora. [3] [4].

2.1.9. Turbodúchadlo

Motor ROTAX 915 IS má turbodúchadlo, ktoré zvyšuje tlak v sacom potrubí a udržuje výkon aj vo vysokých výškach. Turbodúchadlo využíva výfukové plyny motora a tlak v sacom potrubí sa reguluje škrtiacou klapkou. Vzduch sa nasáva vzduchovým filtrom a stláčaný vzduch prechádza chladičom a potom spolu s palivom do sacieho potrubia. Kompresný pomer vzduchu závisí od množstva výfukových plynov prechádzajúcich cez turbínu, ktorá premieňa kinetickú energiu na rotačný pohyb. Systém má obtokový ventil, ktorý riadi kompresiu a senzory teploty a tlaku vzduchu a plynu. Pretlakový ventil uvoľňuje nadmerný tlak v sacom potrubí a ventil na odvetranie kľukovej skrine uvoľňuje tlak z piestových krúžkov. Sensory vonkajšej teploty a tlaku musia byť mimo priameho ofukovania vzduchu a senzor plniaceho tlaku sa nachádza pred škrtiacou klapkou, ďalší snímač tlaku sa nachádza za ňou. [3] [4].

3. NÁVRH ALTERNATÍVNEHO RIADENIA MOTORA ROTAX 915 IS

Návrh alternatívneho riadenia motorov ROTAX 915 IS zahŕňa výmenu pôvodnej riadiacej jednotky ECU od firmy ROTAX za ECU MASTER od IMFsoft, s.r.o. Toto riešenie prináša množstvo výhod, ako napríklad zjednodušenie riadenia motora, jednoduchšiu údržbu, zníženie nákladov v prípade poruchy, zníženie elektrického zaťaženia a zníženie hmotnosti. Zníženie hmotnosti motorov môže mať pozitívny dopad na výkon a manévrovaciu schopnosť lietadiel, zatiaľ čo zníženie elektrického zaťaženia môže znamenať menšie a ľahšie batérie a alternátory. Pre dosiahnutie efektívneho riadenia motora ROTAX 915 IS je dôležité monitorovať procesy v motore a riadiť aktuátory na základe pokynov z riadiacej jednotky ECU MASTER. Funkcie a vlastnosti ECU MASTER umožňujú presné a efektívne riadenie motora. Postup návrhu alternatívneho riadenia motorov ROTAX 915 IS sa musí zamerať na vytvorenie systému, ktorý bude plne kompatibilný s motorom a jeho požiadavkami. Celkovo je návrh alternatívneho riadenia motorov ROTAX 915 IS zameraný na zlepšenie efektívnosti, spoľahlivosti a údržby motorov. Toto riešenie môže mať pozitívny dopad na výkon a funkčnosť lietadiel, ako aj na celkové náklady, na údržbu a prevádzku motorov [3] [4].

3.1. Elektronická riadiaca jednotka ECU MASTER

ECU MASTER je elektronická riadiaca jednotka, ktorá slúži na ovládanie predstihu zapalovania a dobu vstrekovania v spaľovacích motoroch s jedným až dvanástimi valcami. V závislosti od konkrétneho typu ECU môže mať výstupy pre indukčné alebo kapacitné zapalovacie cievky, ale aj kombinované výstupy pre oba typy cievok. S ECU MASTERom je možné zaznamenávať údaje zo senzorov a následne ich vyhodnocovať. Týmto spôsobom dokáže riadiť aktuátory motora. Mapy od výrobcu alebo navrhnuté používateľom môžu byť použité na vyhodnocovanie a nastavenie parametrov ECU MASTERa. Vďaka širokej škále vlastností ECU MASTERa je možné ho použiť na riadenie spaľovacích motorov rôznych typov vozidiel vrátane motocyklov, automobilov, lodí a dokonca aj leteckých motorov. Navyše, vďaka možnosti riadenia vysokých otáčok dokáže ECU MASTER riadiť aj turbíny. ECU MASTER od výrobcu IMFsoft, s.r.o. je tak univerzálnym nástrojom na optimalizáciu výkonu a účinnosti spaľovacích motorov [5] [6].

3.1.1. Funkcie ECU MASTER

Technológia programovateľného logického zariadenia (FPGA)

Elektronické riadiace jednotky (ECU) sa stali dôležitými pre riadenie moderných spaľovacích motorov. V ECU MASTER sa používa programovateľné logické zariadenie (FPGA), ktoré umožňuje digitálny a analógový prevod signálov zo senzorov. ECU následne vyhodnocuje tieto signály a vykonáva matematický model skutočných otáčok motora. ECU MASTER podporuje ľubovoľné usporiadanie snímaných zubov, čo znamená, že je možné použiť ľubovoľné ozubené koleso so snímačom polohy kľukového hriadeľa a nastaviť ho v softvéri ECU. To umožňuje ECU určiť rýchlosť a smer rotácie kľukového hriadeľa, čo je dôležité pre správnu synchronizáciu kľukového a vačkového hriadeľa, aby sa zabezpečilo správne zapalovanie a vstrekovanie paliva. FPGA je vďaka svojmu vysokému operačnému výkonu a presnosti ideálnym riešením pre digitálny a analógový prevod signálov zo senzorov. Táto technológia sa používa nielen v ECU MASTER, ale aj v iných ECU pre rôzne aplikácie. Použitie programovateľného logického zariadenia prináša výhody v podobe presného riadenia motorov a možnosti nastavenia rôznych parametrov v softvéri ECU [5] [6].

5D mapy

Jednotka ECU MASTER disponuje tiež 5D mapami predstihu zapalovania a vstrekovania. 5D mapy zahŕňajú päť hlavných rozmerov. Tieto rozmery sú zvyčajne rýchlosť motora, poloha škrtiacej klapky, teplota nasávaného vzduchu, zaťaženie motora a pomer vzduchu a paliva. Vďaka použitiu 5D mapy vieme komplexnejšie zobrazit' prevádzkové podmienky motora. To umožňuje presnejšie nastavenie motora na dosiahnutie optimálneho výkonu a účinnosti v širšom rozsahu podmienok [5].

Snímanie podtlaku v sacom potrubí

Snímanie podtlaku v sacom potrubí motora, slúži na kontrolu a monitorovanie podtlaku, ktorý vzniká v dôsledku pohybu piestov vo valcoch motora. Snímač podtlaku sa nachádza priamo v sacom potrubí a poskytuje informácie riadiacej jednotke, ktorá na základe týchto informácií riadi privod paliva a emisie motora.

Integrácia snímania podtlaku umožňuje dosiahnuť vysokú presnosť merania podtlaku a zlepšenie výkonu, účinnosti a emisií motora. Tento prvok je dôležitý najmä v súvislosti s modernými motorovými systémami, ktoré vyžadujú vysokú presnosť a efektívnosť riadenia. Preto je správne a presné snímanie podtlaku v sacom potrubí kľúčovým faktorom v riadení moderných motorových systémov [5] [6].

Snímanie teploty v motore

Snímanie teploty v motore je kľúčové pre riadenie mnohých parametrov prevádzky motora, pretože teplota môže ovplyvniť výkon, účinnosť a životnosť motora. Na monitorovanie teploty slúžia rôzne senzory na meranie teploty, ktoré sú podporované riadiacou jednotkou ECU MASTER. Tieto senzory môžu byť umiestnené v olejovom, chladiacom alebo výfukovom systéme motora, alebo pred sacím ústrojenstvom. Informácie z týchto snímačov sa prenášajú priamo do riadiacej jednotky motora, ktorá ich používa na riadenie rôznych parametrov prevádzky. Ak napríklad teplota motora presiahne bezpečnú úroveň, riadiaca jednotka môže zmeniť dávkovanie paliva na zníženie teploty [5].

Meranie otáčok motora

Riadiaca jednotka motora používa výstup schopný prenášať digitálny signál cez CANbus na meranie otáčok motora. Táto informácia sa využíva na reguláciu rýchlosti chodu motora, riadenie zapalovania a iných parametrov prevádzky motora. Otáčky motora sa môžu získať aj z iných senzorov, ako napríklad senzorov polohy vačkového hriadeľa alebo kľukového hriadeľa, no otáčkomer predstavuje jednoduchší a spoľahlivejší spôsob merania otáčok motora [5] [6].

Riadenie palivového čerpadla

Riadiaca jednotka motora ECU MASTER dokáže zhromažďovať a analyzovať údaje zo senzorov na riadenie palivového čerpadla. Tento proces zahŕňa viaceré parametre, ako sú rýchlosť otáčania motora, tlak v palivovom systéme, teplota motora, množstvo vzduchu, ktoré vstupuje do motora a množstvo paliva, ktoré sa dostáva do valcov. Riadiaca jednotka ponúka rôzne typy riadenia palivového čerpadla, vrátane pulzného riadenia a najpokročilejšieho PWM riadenia. PWM riadenie umožňuje presnejšie nastavenie rýchlosti palivového čerpadla v závislosti od prevádzkových požiadaviek a riadiaca jednotka môže regulovať množstvo paliva, ktoré sa dodáva do motora. V prípade problému s palivovým čerpadlom, riadiaca jednotka dokáže upozorniť pilota na technickú poruchu a prepnúť systém do núdzového režimu, kde je palivové čerpadlo riadené iným spôsobom, aby sa predišlo možnému poškodeniu motora [5] [6].

Regulácia dobíjania batérie

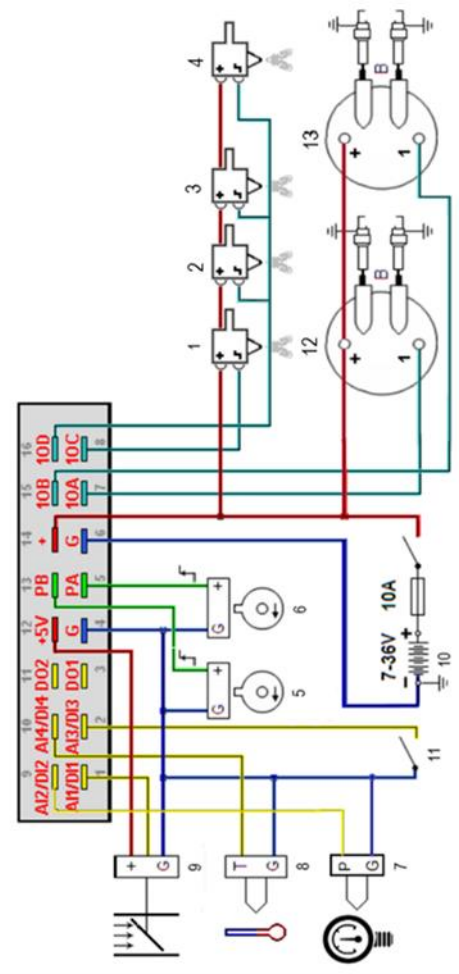
Riadiaca jednotka zabezpečuje optimálne nabíjacie napätie a prúd pre batériu v závislosti od jej stavu a požiadaviek systému. Riadiaca jednotka môže upravovať napätie a prúd generátora a ďalšie charakteristiky nabíjania batérie, za účelom najlepšej účinnosti a bezpečnosti nabíjania. Kľúčovým prvkom riadenia dobíjania batérie je zabezpečiť, že batéria je v optimálnom stave pre spustenie motora a prevádzku elektrických zariadení na palube lietadla a zároveň poskytuje ochranu pred nadmerným nabíjaním. Riadiaca jednotka motora ECU MASTER umožňuje

monitorovanie stavu batérie a zobrazovanie týchto informácií na prístrojovej doske lietadla [5] [6].

Riadenie výkonu a spotreby paliva

ECU MASTER je moderná riadiaca jednotka motora s PID regulátorom pre presné riadenie výkonu a spotreby paliva. PID regulátor sleduje chybu v otáčkach motora a plniacom tlaku turbodúchadla a kombinuje proporcionálne, integračné a diferenciálne regulovanie. Využitie PID regulácie umožňuje zlepšiť efektívnosť motora a dosiahnuť lepšiu spotrebu paliva. Toto riadenie môže byť užitočné aj pre iné aplikácie, ako sú generátory a člny [5] [6].

3.1.2. Prvý návrh zapojenia ECU MASTER



Obrázok 5 - Návrh prvého zapojenia ECU MASTER [8]

Prvý návrh zapojenia ECU MASTER pre riadenie spaľovacieho motora obsahuje štyri aktuátory vstrekovania (1) (2) (3) (4) a dve indukčné zapalovacie cievky TCI (12) (13). Snímače otáčok kľukového a vačkového hriadeľa (5) (6) a snímač tlaku v sacom potrubí (7) sú potrebné pre optimálny chod motora. Tento návrh obsahuje aj senzor teploty motora (8) a senzor polohy škrtiacej klapky TPS (9). Riadiaca jednotka je napájaná pomocou zdroja jednosmerného prúdu s napätím 7 až 36V (10) a je zabezpečená 10A poistkou. V prípade vysadenia motora sa v schéme nachádza senzor blokovania chodu motora (11), ktorý deteguje

poruchy a umožňuje ECU zareagovať naň napríklad zastavením dodávky paliva.

4. ZÁVER

Záver tohto článku naznačuje, že náhrada pôvodnej riadiacej jednotky ECU v leteckom motore ROTAX 915 IS novou ECU MASTER predstavuje reálne možnosti optimalizácie a zjednodušenia motora. V článku sa nezameriavame na simulované lety ani testovacie situácie v reálnom prostredí. Skúmame teoretickú analýzu alternatívneho riadenia leteckého motora ROTAX 915 IS s cieľom jeho zjednodušenia. Hoci ECU MASTER môže byť náhradou pôvodnej riadiacej jednotky, nie je možné prevádzkovať motor s touto riadiacou jednotkou na lety, pretože nemá zálohu. Táto práca môže byť využitá pre vedecké účely a merania v laboratóriu pre študentov, ktorí sa zaujímajú o alternatívne riadenie spaľovacích motorov v letectve. Veríme, že naše zistenia a výsledky budú mať veľký prínos pre študentov a môžu slúžiť ako zdroj inšpirácie pre ďalšie experimentovanie a rozvíjanie technológií v tejto oblasti.

Referencie

- [1] History. In Rotax Aircraft Engines [online]. [cit. 2023-03-25]. Dostupné na internete: <<https://www.flyrotax.com/p/about-rotax/history>>
- [2] BERTORELLI, P. Rotax 915 is: Incremental Power Boost. In Aviation Consumer [online]. 2019. [cit. 2023-03-25]. Dostupné na internete: <<https://www.aviationconsumer.com/maintenance/rotax-915-is-incremental-power-boost/?fbclid=IwAR1-VtNsHi2OSgO3dkylmRjQ1rk-M3GdPwEtunY85cQnDzeWg93S1Rt3jI0>>
- [3] Maintenance manual heavy for ROTAX engine type 915 i Series. REF NO.: MMH-915 i A / C24 | PART NO.: 898861
- [4] Operators Manual for ROTAX engine type i A / C24 Series. REF NO.: OM-915 i A / C24 | PART NO.: 898851
- [5] Master ignition map sensor. In IMFsoft, s.r.o. [online]. [cit. 2023-03-25]. Dostupné na internete: <<https://imfsoft.com/en/category-control-units/master-ignition-map-sensor#toc-documentation>>
- [6] ECU master CDI - TCI V8 - imfsoft. In [online]. [cit. 2023-03-025]. Dostupné na internete: <https://imfsoft.com/files/master/documentation/MasterCDI_TCI_V8_43_EN.pdf>
- [7] Installation manual for ROTAX engine type 915 i Series. REF NO.: IM-915 i A / C24 | PART NO.: 898871
- [8] ECU master CDI - TCI Scheme & Configuration rev 8 - imfsoft. In [online]. [cit. 2023-03-26]. Dostupné na internete: <https://imfsoft.com/files/master/documentation/MasterSchemeV8_43_EN.pdf>