



TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO

Tomasz ZAHORSKI, Norbert GRZESIK, Robert CZAPLA, Ryszard ZAREMBA

SYSTEM AWARYJNEGO ZASILANIA SAMOŁOTU WIELOZADANIOWEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiony został system awaryjnego zasilania samolotu wielozadaniowego będącego na wyposażeniu Sił Zbrojnych RP. Artykuł prezentuje również rozwiązania awaryjnych źródeł zasilania stosowane na innych typach statków powietrznych wykorzystywanych w lotnictwie skupiając się jednak na podstawowych elementach, zasadzie działania i przeznaczeniu układu znajdującego się na wyposażeniu samolotu F-16.

WSTĘP

W każdym statku powietrznym system energetyczny pełni bardzo ważną rolę związaną z prawidłowym i bezpiecznym wykonywaniem lotu. Współczesne samoloty korzystają w czasie lotu z urządzeń charakteryzujących się dużym zapotrzebowaniem na energię elektryczną (komputery pokładowe, układy klimatyzacji, systemy oświetlenia, itp.). Ponadto w statkach powietrznych wykorzystujących technologię FLY BY WIRE za sprawą impulsu elektrycznego przekazywany jest sygnał z drążka sterowniczego (reagującego na siłę nacisku) do urządzeń wykonawczych (najczęściej sterowanych przez układy hydrauliczne) którymi są płatowcowe systemy sterowania zamontowane na skrzydłach i ogonie. Sytuacja w której zagrożona jest ciągłość zasilania układów gwarantujących bezpieczeństwo lotu jest więc niebezpieczna i niedopuszczalna. Podstawowym źródłem energii potrzebnej np. do rozruchu silnika są zewnętrzne źródła prądu bądź akumulatory pokładowe. Po osiągnięciu wymaganej prędkości obrotowej turbiny rolę źródła energii elektrycznej przejmuje prądnica na pokładzie statku powietrznego napędzana pośrednio przez obracającą się turbinę. W przypadku instalacji hydraulicznej źródłem energii jest napędzana elektrycznie lub pośrednio od silnika pompa hydrauliczna. Kontynuowanie lotu z niesprawnym systemem elektrycznym (prądnica), lub hydraulicznym (pompa hydrauliczna) może być realizowane jedynie za sprawą awaryjnych źródeł energetycznych umożliwiając statkowi powietrznemu bezpieczne lądowanie w wypadku wystąpienia awarii.

1. SYSTEMY AWARYJNEGO ZASILANIA STOSOWANE W LOTNICTWIE

1.1. Przykłady awaryjnych źródeł zasilania statku powietrznego w energię elektryczną

Współczesne statki powietrzne posiadają różnego rodzaju zabezpieczenia i alternatywne rozwiązania techniczne zabezpieczające przed całkowitą utratą np. zasilania w wyniku awarii lub usterki technicznej. Jednym z awaryjnych źródeł energii elektrycznej wykorzystywanych w samolotach transportowych i pasażerskich jest pomocnicza jednostka mocy (Auxiliary Power Unit). Jest to stosunkowo niewielki generator używany do uzyskania energii elektrycznej lub do awaryjnego uruchamiania głównych silników samolotu. W niektórych samolotach zapotrzebowanie na prąd jest tak duże, że owa jednostka mocy pracuje nieprzerwanie podczas lotu. Napęd takiej jednostki może odbywać się za sprawą silnika tłokowego lub turbinowego. Jednostki APU montowane np. w cywilnych dwusilnikowych samolotach transportowych stanowią bardzo ważny element bezpieczeństwa systemu energetycznego i napędowego, zapewniając energię elektryczną i sprężone powietrze w przypadku awarii jednego z głównych silników, odciążając drugi z nich.¹



Rys. 1. Jednostka APU zainstalowana na samolocie Boeing 737²

Innym dodatkowym źródłem energii wykorzystywanym na samolotach jest turbina powietrza naporowego Ram Air Turbine (RAT), używana w sytuacjach awaryjnych do wygenerowania wystarczającej mocy potrzebnej do kontynuowania lotu aż do lądowania. RAT pełni więc funkcję źródła energii. W odróżnieniu od Auxiliary Power Unit (APU) turbina RAT nie potrzebuje paliwa do pracy. Układ ten składa się ze śmigła obracającego się z dużymi prędkościami, za sprawą strug powietrza opływającego samolot. Prędkość obrotowa zamieniana jest na energię elektryczną wykorzystywaną min. do obsługi układów awionicznych i systemu sterowania płatem. Podczas normalnych warunków lotu turbina ta jest złożona i przechowywana w kadłubie samolotu. Dopiero w sytuacjach awaryjnych gdy zasadnicze źródła prądu zawiodą, RAT wysuwa się z obrysu kadłuba i rozpoczyna pracę. Turbiny te stworzone są do stosunkowo długiej pracy i mogą nieprzerwanie pracować praktycznie do wylądowania samolotu.³

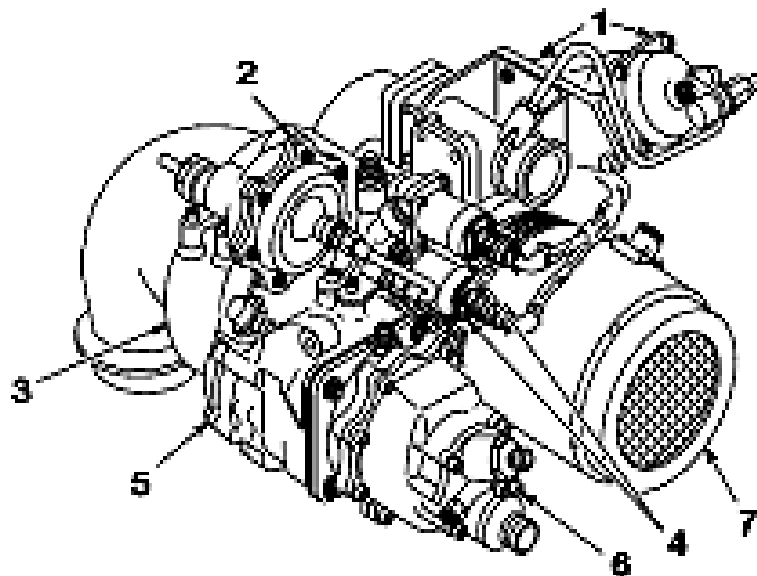


Rys. 2. Jednostka RAT zainstalowana na naddźwiękowym samolocie Concorde ⁴

Na samolocie F 16 w odróżnieniu od pozostałych zaprezentowanych wyżej systemów awaryjnego wytwarzania energii funkcję awaryjnego źródła energii pełni EPU (Emergency Power Unit) czyli Jednostka Zasilania Awaryjnego. Odpowiada on za utrzymywanie kontroli nad samolotem w sytuacjach związanych z zgaśnięciem silnika, awarią generatorów prądu lub głównych pomp instalacji hydraulicznej. System ten włącza się automatycznie zachowując ciągłość zaopatrywania w energię elektryczną i ciśnienie hydrauliczne, co konieczne jest to pełnego panowania nad tym samolotem. Do procesu podania paliwa (którym jest hydrazyna) używany jest sprężony azot który napierając na hydrazynę powoduje wypchnięcie paliwa ze zbiornika do komory spalania, w której następuje samozapłon łatwo reagującej substancji. Sprężone gazy spalinowe powstałe w wyniku spalania oparów hydrazyny wprawiają w ruch turbinę. Możliwa jest również praca systemu dzięki sprężonemu powietrzu ze sprężarki silnika samolotu, lub równoległe wykorzystywanie obu cykli pracy.

1.2. System Zasilania Awaryjnego samolotu F-16

System zasilania awaryjnego jest samodzielnym systemem energetycznym, który jest w stanie wytworzyć energię elektryczną oraz ciśnienie w instalacji hydraulicznej odpowiadające za działanie instalacji hydraulicznej i elektrycznej w trybie awaryjnym. Funkcja ta pozwala utrzymać kontrolę nad samolotem w przypadku awarii generatora prądu, głównej pompy hydraulicznej lub zgaśnięciu silnika.

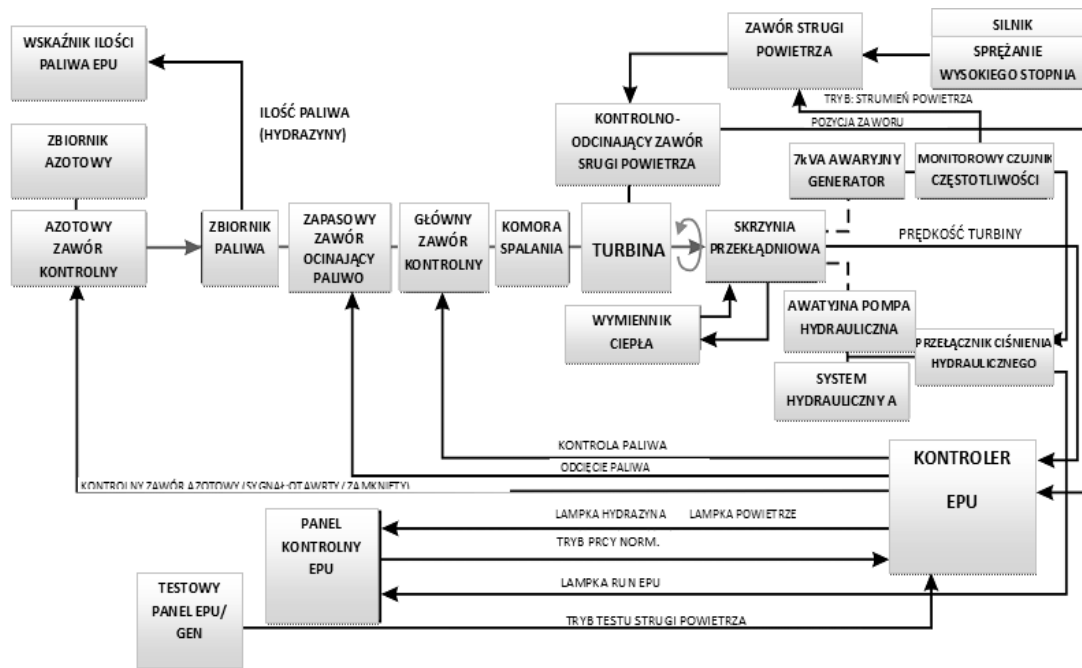


Rys. 3. Jednostka zasilania awaryjnego EPU: 1. Zawór kontrolno odcinający przepływu powietrza. 2. Komora spalania. 3. Turbina. 4. Zawory regulująco-odcinające paliwa hydrazynowego. 5. Przekładnia. 6. Awaryjna pompa hydrauliczna. 7. Awaryjny generator.⁵

System awaryjnego zasilania składa się z systemu EPU, który dalej dzieli się na dwa podsystemy, jak poniżej:

1. Podsystem zasilania i kontroli systemu awaryjnego.
2. Podsystem zasilania w paliwo hydrazynowe jednostki awaryjnego zasilania oraz wskaźnik ilości paliwa.⁶

System zasilania awaryjnego uruchamia się automatycznie, gdy główny i zapasowy generator napięcia elektrycznego przestanie działać, lub system pomp hydraulicznych w układach zasilania hydraulicznego samolotu zawiedzie. Kiedy główne i zapasowe generatory zawiodą, awaryjna jednostka kontroli generatorów pobudzi blok przekaźników, który z kolei wyemituje wzmocniony sygnał startowy do kontrolera EPU i sygnał otwarcia do odcinająco - regulującego zaworu dopływu powietrza z silnika (Bleed Air Shutoff and Regulator Valve). Kontroler EPU wyśle również sygnał otwarcia do: zaworu odcinającego paliwo hydrazynowe, zaworu otwarcia dopływu powietrza i zaworu azotowego. W chwili gdy zawór azotowy zostanie otwarty, ciśnienie azotu (o wartości 400 psi na wyjściu z zaworu) dociera do zbiornika z hydrazyną napierając na tytanowy tłok wewnątrz zbiornika z paliwem hydrazynowym wypychając z niego hydrazynę. Membrana, która w normalnych warunkach pracy oddziela hydrazynę od zaworu paliwa, pęka, umożliwiając hydrazynie swobodny przepływ przez otwarte zawory paliwa EPU do komory spalania, gdzie hydrazyna ulega samoczynnemu, gwałtownemu rozkładowi i zapłonowi w wyniku czego powstają gazy o wysokim ciśnieniu i temperaturze.⁶



Rys. 4. Schemat blokowy systemu zasilania awaryjnego

Temperatura gazów powstałych w procesie spalania wynosi około 650°C (1200°F) w komorze spalania a na turbinie napędowej dochodzi nawet do 870°C (1600°F). Gazy wylotowe powstałe w wyniku spalania hydrazyny ze strumieniem powietrza z silnika przemieszczają się przez oddzielne dysze napotykając na swojej drodze turbinę, wprawiając ją w ruch obrotowy. Z chwilą gdy prędkość obrotowa wzrośnie do nominalnej prędkości (ok. 75 tys./min), zawór kontrolny paliwa hydrazynowego zamyka się. Funkcję napędową turbiny przejmuje tylko strumień powietrza z silnika. Hydrazyna wejdzie do pracy ponownie, gdy strumień powietrza będzie niewystarczający lub zaniknie (w przypadku zgaśnięcia silnika). Turbina napędza skrzynię przekładniową EPU uruchamiając 7kVA generator awaryjny zasilający energią elektryczną awaryjne szyny elektryczne statku powietrznego.



Rys. 5. Jednostka zasilania awaryjnego (EPU) zamontowana na samolocie F-16

Gdy obie pompy hydrauliczne systemu A i B zawiodą czujniki systemów A i B wygenerują sygnał do zamknięcia przełączników niskociśnieniowych tych systemów. Wtedy wygenerowany zostaje sygnał do elektronicznego kontrolera prędkości, by włączyć EPU. Podobny sposób działania jest taki sam w razie uszkodzenia systemu elektrycznego.

Zapassowe zasilanie awaryjne i układ sterowania podsystemów wykorzystuje jednostkę zasilania awaryjnego do wytworzenia ciśnienia hydraulicznego i energii elektrycznej. Zapassowe zasilanie awaryjne i podsystemy wykorzystywane są do utrzymywania kontroli nad statkiem powietrznym w razie awarii generatora prądu, pompy hydraulicznej lub utraty mocy silnika. Energia potrzebna do uzyskania odpowiedniego ciśnienia cieczy hydraulicznej w awaryjnej pompie hydraulicznej i mocy przez awaryjny generator prądu pochodzi z przemiany paliwa (70% hydrazyny i 30% wody) w wyniku spalania (lub ciśnienia powietrza z silnika w innym trybie pracy) w gazy napędzające turbinę. EPU może działać w trzech trybach pracy w zależności od sytuacji jaka zaistnieje.

I Tryb Hydrazyny. W chwili gdy gaśnie silnik, niemożliwe jest napędzenie turbiny przez strugę sprężonego powietrza. Układ pracuje wyłącznie bazując na spalaniu hydrazyny wykorzystywanej do napędu turbiny.

II Tryb wzmocniony. Gazy powstałe w wyniku spalania hydrazyny wspomagają cyklicznie (gdy spada prędkość turbiny poniżej minimalnej wartości) strumień sprężonego powietrza z za sprężarki silnika.

III Tryb strumienia powietrza. Silnik pracuje na tyle wydajnie żeby ilość i ciśnienie powietrza dostarczanego na turbinę napędową było wystarczające do pracy systemu wyłącznie dzięki powietrzu z za sprężarki.

Hydrazyna może automatycznie zwiększyć moc strumienia powietrza z silnika, jeżeli moc awaryjna podsystemu w trybie pracy powietrze z silnika nie zabezpiecza w pełni wymaganej awaryjnej mocy dla napędzanych agregatów. Podsystem zapassowego zasilania awaryjnego będzie dostarczał odpowiednią moc przez ok. 10 minut używając tylko hydrazyny jako źródła energii i teoretycznie nieograniczony czas w trybie pracy powietrze wykorzystując sprężone powietrze ze sprężarki silnika.⁶

Zajmując się tematem systemu zasilania awaryjnego warto wspomnieć o paliwie którym jest hydrazyna wyprodukowana po raz pierwszy w okresie drugiej wojny światowej. Hydrazyna (N_2H_4) w temperaturze pokojowej jest bezbarwną cieczą. Wykazuje właściwości toksyczne. Odczyn ma słabo zasadowy, a temperatura wrzenia wynosi $113,5^{\circ}C$. Posiada silne właściwości redukujące, przez co jest używana przy otrzymywaniu złota, srebra i platyny z roztworu ich soli. W ostatnich latach hydrazyna nabrała znaczenia jako paliwo raketowe. Jako czynników utleniających używa się nadtlenu wodoru lub ciekłego tlenu. Produktami utleniania hydrazyny są para wodna i azot. Hydrazyna ma własności korozyjne i jest bardzo toksyczna. Co prawda w przypadku wycieku do środowiska naturalnego ulega rozkładowi w wodzie (biodegradacji), ale może w tym czasie zniszczyć roślinność i organizmy żyjące w środowisku wodnym. Dla ludzi jest niebezpieczna już w stężeniu 50 cząsteczek na milion. Bardzo łatwo dostaje się do organizmu poprzez drogi oddechowe skórę lub drogami pokarmowymi. Dodatkowo bardzo łatwo się zapala a jej opary mogą również szkodzić zdrowiu.

Używana jest również jako:

- a) środek pianotwórczy przy produkcji poliuretanów,
- b) komponent paliw raketowych,
- c) składnik mieszaniny do wywoływania filmów fotograficznych,
- d) środek redukujący w wielu procesach chemicznych,
- e) paliwo w turbinach zasilających i awaryjnych samolotów i promów kosmicznych.

Awaryjna jednostka mocy (EPU) zamontowana na samolocie F-16 w odróżnieniu od wielu innych podobnych jej urządzeń wykorzystywanych na statkach powietrznych służy do awaryjnego wytwarzania energii elektrycznej oraz ciśnienia w układzie hydraulicznym. EPU do wytworzenia niezbędnej energii do napędu awaryjnego generatora i pompy hydraulicznej wykorzystuje rozpad hydrazyny w wyniku gwałtownego spalania. Proces tworzenia gazów wylotowych powstałych w wyniku spalania można porównać z miniaturowym silnikiem odrzutowym którego energia gazów wylotowych jest zamieniana na pracę turbiny napędzającej awaryjne źródła prądu elektrycznego i ciśnienia hydraulicznego, niezbędne dla podtrzymania możliwości sterowania samolotem w momencie np. zgaśnięcia silnika. W wielu konstrukcjach statków powietrznych czasami odchodzi się od awaryjnych urządzeń energetycznych napędzających więcej niż jeden system zasilania. W przypadku samolotu F-16 mamy do czynienia z układem awaryjnym mogącym zabezpieczyć w sytuacji awaryjnej system energetyczny samolotu wykorzystując sprężone powietrze z silnika jak i energię powstałą w wyniku spalania paliwa hydrazynowego. Oba te warianty awaryjnego zasilania uzupełniają się wzajemnie gwarantując niezależność i niezawodność układu umożliwiającą automatyczne lub manualne zadziałanie EPU praktycznie w każdych warunkach kiedy tylko zajdzie taka potrzeba.

PODSUMOWANIE

Źródła awaryjnego zasilania w energię elektryczną lub hydrauliczną są współcześnie nieodzownym elementem wyposażenia każdego statku powietrznego. Pełnią one często rolę pomocniczego źródła zasilania w energię elektryczną nie tylko w sytuacjach awaryjnych ale również w momentach dużego zapotrzebowania w energię w czasie lotu, startu lub lądowania.

Konstruktorzy dążą do uzyskania prostego i niezawodnego źródła zasilania gwarantującego niezawodność działania z jednoczesną efektywnością tak ważną w powietrzu gdzie nie ma miejsca na błędy i improwizacje.

MULTI - ROLE AIRCRAFT EMERGENCY POWER SUPPLY SYSTEM

Abstract

Paper discussed the Emergency Power System. The article describes the emergency power supply system of the multi-role aircraft which is presently owned by the Polish Air Force. The article also presents the emergency power supply system used in other types of aircraft in aviation focusing on basic elements, the operations and purpose of the F-16 system.

BIBLIOGRAFIA

1. <http://www.b737.org.uk/apu.htm>
2. <http://www.aerospaceweb.org/question/electronics/q0219.shtml>
3. <http://www.aerosourceinc.com/>
4. <http://www.concordeproject.com/photos/rat.jpg>
5. *Technical Manual General System Lockheed Martin*
6. *Technical Manual General System Lockheed Martin*

Autorzy:

dr inż. Norbert GRZESIK- Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie

mgr inż. Robert CZAPLA- Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie

mgr inż. Tomasz ZAHORSKI- Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie

mgr inż. Ryszard ZAREMBA- Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie