

Systemy nawigacyjne samolotu F-16 blok 52+

SIŁA W RÓŻNO

Wdrażany obecnie do Polskich Sił Powietrznych F-16 jest najbardziej medialnym samolotem w historii polskiego lotnictwa wojskowego. Każdy obywatel RP czuje się ekspertem w tej dziedzinie, potrafi ocenić, czy jest on lepszy czy gorszy od innych. Jednak o jakości maszyny decydują nie tylko osiągi oraz rodzaje uzbrojenia, ale również jakość wyposażenia awionicznego, w tym przede wszystkim systemy nawigacyjne. Na ten temat informacje są bardzo ubogie.

ADAM BRZUZEK
ARKADIUSZ PAWLIK
ANDRZEJ RYPULAK

Spróbujemy więc przybliżyć tę tematykę, charakteryzując urządzenia i systemy nawigacyjne samolotu F-16. Przypomnijmy, że nawigacja powietrzna to kierowanie ruchem statków powietrznych podczas przemieszczania się z jednego punktu w przestrzeni do drugiego. Jej celem jest znalezienie odpowiedzi na następujące pytania:

● Gdzie jestem i gdzie powinienem być?

● Którą drogą mam się poruszać i jak daleko jest do celu (następnego punktu drogi)?

W przypadku lotnictwa wojskowego dochodzą jeszcze:

● Gdzie są obiekty własne, gdzie nieprzyjaciela?

● Gdzie są obiekty ataku?

W znalezieniu odpowiedzi na te pytania pomagają umieszczone na pokładzie samolotu systemy nawigacyjne, takie jak:

● zintegrowany system nawigacyjny GPS/INS (Global Positioning System/Inertial Navigation System),

● wielofunkcyjny odbiornik nawigacyjny MMR (Multi Mode Receiver),

● system TACAN (Tactical Air Navigation),

● centrala danych aerometrycznych FES (Flight Environment System),

● system nawigacji według rzeźby terenu DTS (Digital Terrain System),

● pokładowy interrogator – transponder CIT (Combined Interrogator-Transponder),

● system wymiany informacji taktycznej (Link-16),

● radar pokładowy FCR (Fire Control Radar).

● KLASYFIKACJA SYSTEMÓW NAWIGACYJNYCH SAMOLOTU

Rozpatrując zagadnienie systemów nawigacyjnych samolotu F-16, należy uwzględnić fakt, iż producent dokonał specyficznego podziału pokładowego wyposażenia nawigacyjnego. Urządzenia i systemy wykorzystywane podczas lotów bojowych – dostarczające informacji nawigacyjnych do systemu zarządzania uzbrojeniem lub umożliwiające wykonanie skrytego podejścia w rejon celu – zaliczone są do grupy Awioniki Ataku (Attack Avionic Systems). Są to:

● zintegrowany system nawigacyjny GPS/INS,

● pokładowa stacja radiolokacyjna,

● radiowysokościomierz,

● system nawigacji według rzeźby terenu DTS.

W procesie obsługi samolotu F-16 powyższymi urządzeniami i systemami zajmuje się personel techniczny specjalności *Attack Avionics*.

Z kolei urządzenia i systemy o przeznaczeniu głównie „pokoju” two-

rzą właściwą grupę urządzeń nawigacyjnych (Navigation Systems). Są to:

● centrala danych aerometrycznych,

● wielofunkcyjny odbiornik nawigacyjny MMR,

● pokładowy interrogator-transponder CIT systemu identyfikacji „swój-obcy” (AIFF – Advanced Identification Friend or Foe System),

● system przyrządów pilotażowo-nawigacyjnych.

Zaliczenie systemu AIFF do grupy urządzeń nawigacyjnych jest kontrowersyjne. Z jednej strony ma swoje uzasadnienie ze względu na jego współpracę z ośrodkami kontroli ruchu lotniczego, z drugiej zaś – należy podkreślić, że zasadniczym przeznaczeniem tego systemu jest jednak identyfikacja „swój-obcy” w warunkach bojowych. Z tego względu celowe wydawałoby się umieszczenie systemu AIFF w grupie Awioniki Ataku.

Co ciekawsze, w procesie obsługi samolotu F-16 urządzeniami i systemami z grupy Navigation zajmuje się personel techniczny aż dwóch specjalności: *Systemy sterowania i przyrządy pokładowe (Flight Controls/Instruments)* oraz *Łączność/Nawigacja/Walka elektroniczna (Communication/Navigation/Electronic Warfare)*.

W F-16 zainstalowany jest ponadto pokładowy terminal MIDS (Multifunction Information Distribution System). Ze względu na wspólny zakres częstotliwości pracy integruje on w jednym bloku pracę dwóch systemów:

RODNOŚCI



FOT. MARIUSZ ADAMSKI – SKRZYDŁA POLSKA

- systemu wymiany informacji taktycznej (czyli Link-16),
- pokładowej części systemu bliskiej radionawigacji TACAN.

• ZINTEGROWANY SYSTEM NAWIGACYJNY GPS/INS

Zintegrowany system GPS/INS jest to odporny na zakłócenia system nawigacyjny, synchronizowany według czasu UTC, który zapewnia określenie położenia, prędkości i kierunku samolotu w przestrzeni w każdych warunkach pogodowych. Składa się z dwóch elementów: systemu nawigacji inercyjnej INS oraz systemu nawigacji satelitarnej GPS.

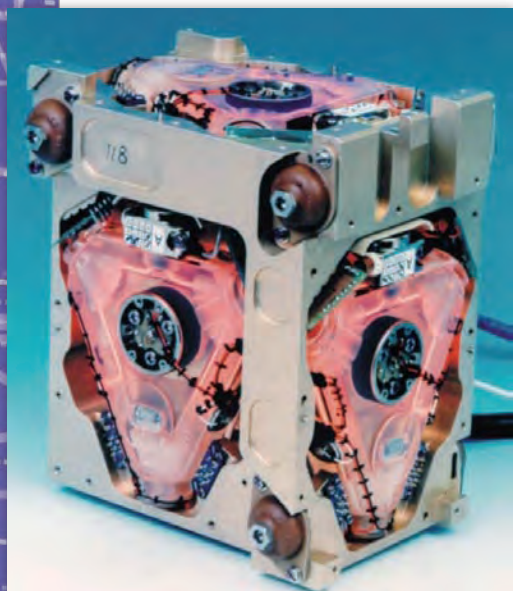
System nawigacji inercyjnej INS jest systemem autonomicznym umożliwiającym określenie wszystkich parametrów nawigacyjnych środkami dostępnymi na pokładzie samolotu. Nie wymaga dodatkowych urządzeń instalowanych na zie-

mi lub sztucznych satelitach. Należy do systemów nawigacji zliczeniowej, w których określanie współrzędnych oparte jest na ciągłym uwzględnianiu wartości i kierunku przebytej odległości względem wyjściowego punktu trasy. Znając miejsce startu, kierunek lotu oraz prędkość względem przyjętego układu odniesienia, można obliczyć aktualne położenie samolotu, tj. określić współrzędne pewnego jego punktu (np. środka masy), przez całkowanie dla niego równania ruchu w bezwzględny (inercjalny) układzie współrzędnych – stąd nazwa systemu. Stosowana równolegle nazwa – systemy bezwładnościowe – wywodzi się od zasady działania jednego z pierwotnych czujników – akcelerometrów. Akcelerometry wykorzystywane są do pomiaru wektora wypadkowej siły przyłożonej do samolotu, określenie której niezbędne jest do całkowania równania ruchu. Przyspiesze-

niomierze działają na zasadzie pomiarów sił bezwładności masy pomiarowej równoważonej siłami sprężystego zawieszenia. Funkcję przyspieszeniomierzy w tym przypadku pełnią 3 giroskopy laserowe typu pierścieniowego (rys. 1).

Przed rozpoczęciem lotu pilot powinien wprowadzić do systemu dokładne aktualne położenie geograficzne i wysokość, ponieważ od punktu, który zostanie wprowadzony, rozpocznie się zliczanie drogi w kierunkach wszystkich osi. W przypadku braku takich danych jest możliwość pobrania ich z odbiornika GPS.

System nawigacji satelitarnej GPS jest systemem nieautonomicznym, jednak zapewniającym bardzo wysoką dokładność określania parametrów nawigacyjnych. Jego ścisła współpraca z INS umożliwia uzyskanie wysokiej dokładności z jednoczesnym zapewnieniem autonomiczności (tabela na s. 16).



Rys. 1. Gyroskopy laserowe służące do pomiaru wartości przyspieszeń działających na samolot

GPS/INS wypracowuje dane nawigacyjne, takie jak: bieżące aktualne położenie geograficzne, przyspieszenie, prędkość, wysokość, przechylenie i pochylenie samolotu oraz kurs magnetyczny i rzeczywisty. Dane te przedstawione są na wskaźniku HUD, wskaźniku sytuacji horyzontalnej, sztucznym horyzoncie oraz przekazywane do komputera misji MMC (Modular Mission Computer) w celu wykorzystania przez inne systemy, np. radar pokładowy FCR.

Podstawowe elementy składowe systemu to: platforma gyroskopowa, blok nawigacji inercyjnej oraz odbiornik nawigacji satelitarnej (wszystkie te elementy umieszczone są we wspólnej obudowie) oraz antena GPS i elektroniczny system anteny GPS (rys. 2).

• WIELOFUNKCYJNY ODBIÓRNIK NAWIGACYJNY MMR

Odbiornik MMR współpracuje z nazijnymi elementami systemu bliskiej radionawigacji VOR (VHF Omnidirectional Range) oraz systemu lądowania według przyrządów ILS (Instrument Landing System). Umożliwia pilotowi:

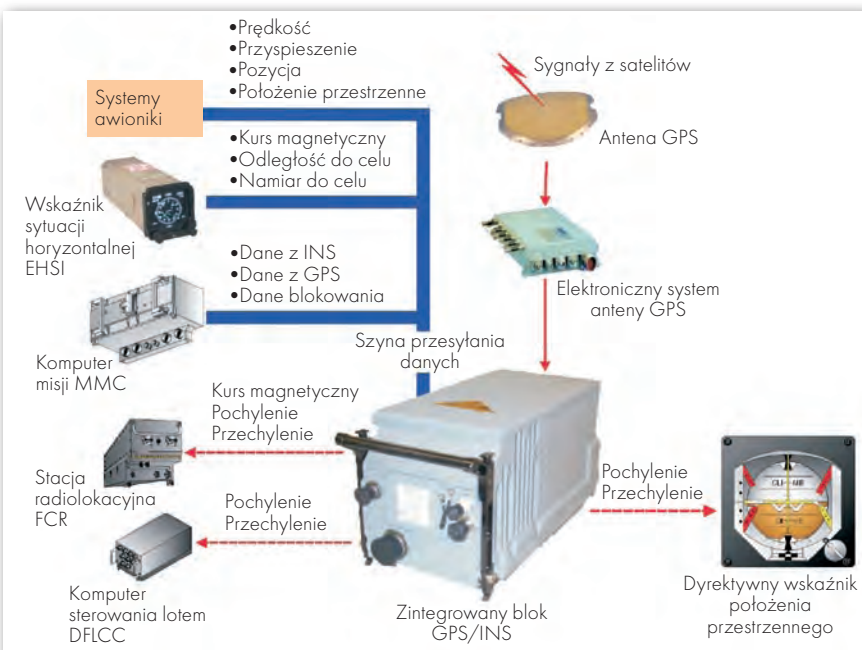
- prowadzenie samolotu po trasach przelotowych według radiolatni VOR,
- wykonanie podejścia do lądowania w systemie ILS.

Informacje nawigacyjne wypracowane przez odbiornik MMR obrazowane są na (rys. 3, 4):

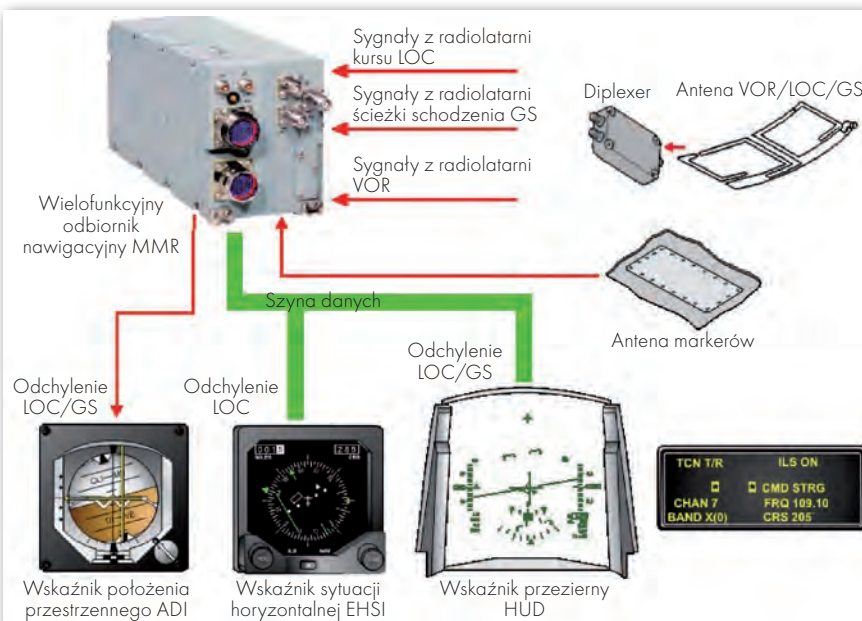
- wskaźniku sytuacji horyzontalnej EHSI (Electronic Horizontal Situation Indicator),

PORÓWNANIE PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW SYSTEMÓW GPS I INS

Parametr	GPS	INS
Dokładność określenia położenia	50 stóp	0,8 NM/h lotu
Dokładność określenia prędkości	0,1 stóp/s w każdej osi	2,5 stopy/s w osiach X, Y 2,0 stopy/s w osi Y
Autonomiczność	Nie	Tak



Rys. 2. Schemat funkcjonalny systemu GPS/INS



Rys. 3. Schemat funkcjonalny odbiornika nawigacyjnego MMR

- wskaźniku położenia przestrzennego ADI (Attitude Direction Indicator),
- wskaźniku przeziernym HUD (Head-Up Display),
- lampce informującej o momencie przelotu nad poszczególnymi markerami systemu ILS.

Pilot informowany jest o:

- fakcie odbioru lub braku odbioru sygnałów od nazijnnych radiolatni,
- kursie na radiolani,
- odchyleniu od zadanego kursu podczas lotu po trasie lub podejścia do lądowania,

- odchyleniu od optymalnej płaszczyzny zniżania podczas podejścia do lądowania,

- falcie wykonywania lotu „do” lub „od” radiolaterni,

- momencie przelotu nad radiolaternią VOR,

- momentach przelotu nad markerami systemu ILS.

Dokładność określania parametrów nawigacyjnych przez odbiornik MMR jest uzależniona od dokładności współpracujących radiolaterni systemów VOR i ILS. Dla systemu VOR będzie zależała od tego, na jaki typ radiolaterni wykonywany jest lot: standardową stację VOR czy też stację DVOR (Differential VOR – VOR różnicowy). W pierwszym przypadku możemy mówić o dokładności określenia kursu na poziomie $\pm 1^\circ$, w drugim – lepszej niż $\pm 1^\circ$.

Dokładność pracy radiolaterni systemu ILS jest określona w odpowiednich wymaganiach technicznych dla tego systemu i kształtuje się:

- dla wyznaczania optymalnej płaszczyzny kursu w procesie podejścia do lądowania na poziomie $\pm 4,1$ m,

- dla wyznaczania optymalnej płaszczyzny zniżania w procesie podejścia do lądowania na poziomie $\pm 0,4$ m.

● SYSTEM TACAN

System TACAN umożliwia pilotowi powrót na lotnisko z wykorzystaniem sygnałów radiolaterni TACAN. W przeciwieństwie do cywilnego systemu bliskiej nawigacji VOR, TACAN był tworzony jako mobilny – radiolaternie naziemne wykonywane są zwykle w



Rys. 4. Kabina samolotu F-16 C

postaci kontenerowej, łatwej do przewożenia i instalacji w dowolnym miejscu. Ponadto TACAN łączy w sobie możliwości dwóch systemów cywilnych: VOR i DME (Distance Measuring Equipment), zapewniając:

- ogólnokierunkowy pomiar azymutu w stosunku do radiolaterni naziemnej,

- pomiar odległości do radiolaterni naziemnej,

- identyfikację radiolaterni,

- pomiar odległości od innego statku powietrznego.

TACAN należy do systemów odległościowo-namiarowych, wykorzystuje w kanale pomiaru odległości te same impulsy i częstotliwości co klasyczny DME. TACAN jest systemem impulsowo-fazowym, w którym:

- odległość statku powietrznego od naziemnej radiolaterni (tak jak w DME) określana jest metodą impulsową, przez pomiar czasu upływającego od momentu wysłania impulsów zapytujących do

momentu otrzymania odpowiedzi od radiolaterni,

- azymut określany jest metodą fazową.

Dokładność określania azymutu w systemie TACAN jest nie gorsza niż $\pm 1^\circ$, a dokładność określania odległości (tak jak w DME) jest na poziomie $\pm 0,1$ mili morskiej. Zasięg działania systemu, rozumiany jako zasięg odbioru sygnałów od radiolaterni naziemnej, zależy oczywiście wprost proporcjonalnie od wysokości lotu samolotu.

● CENTRALA DANYCH AEROMETRYCZNYCH FES

Źródłem sygnałów dla centrali danych aerometrycznych jest zestaw czujników dokonujących pomiaru parametrów, takich jak: temperatura powietrza zewnętrznego, ciśnienie całkowite i statyczne powietrza, kąt natarcia. Na podstawie tych parametrów oraz położenia przestrzennego samolotu centrala do-

REKLAMA

DKS
KOPIOWANIE
BEZ PROBLEMÓW

Cyfrowe koparki A0 „Blue Line” – nowa linia KIP
SZYBKOŚĆ, PRECYZJA, Japońska TECHNOLOGIA

72 900
+VAT

KIP 5000



KIP 5000

- kopiowanie 4,2 A0 / min.
- 4 rolki
- do 15000 mb / msc

- Kolorowy skaner **
- Sieciowy kontroler druku i skanowania **
- Polskojęzyczny panel dotykowy
- 600 x 600 dpi
- (1200 x 800 dpi modulowane wielkością plamki).

* Cena wersji podstawowej.

** W KIP 3000 opcja zablokowana programowo, fizycznie dostępna - aktywacja kodem.



KIP 3000



KIP 3000

- kopiowanie 2,5 A0/min.
- 2 rolki
- do 5000 mb / msc

www.dks.pl

Autoryzowany serwis KIP
7 lat na rynku maszyn wielkoformatowych
Ponad 100 instalacji KIP w polsce

Kolorowe kopie na dowolny ploter atramentowy jednym dotknięciem **
Najniższe koszty eksploatacji (od 40 gr / A0)

Centrala Gdańsk: Trakt Św. Wojciecha 29, 80-044 Gdańsk; tel. (058) 309 03 07

Oddział Warszawa: ul. Kolejowa 11/13, 00-961 Warszawa; tel. (022) 632 12 09

Oddział Katowice: ul. Ks. Bp. Bednorza 2a/6, 40-337 Katowice Szopienice; tel. (032) 730 01 11

Oddział Poznań: ul. Chlebowa 4/8, 61-003 Poznań; tel. (061) 842 58 84





Wskaźnik prędkości przyrządowej i liczby Macha



Wskaźnik wysokości barometrycznej



Sygnalizator kąta natarcia



Wskaźnik kąta natarcia



Wskaźnik prędkości pionowej



Awaryjny wskaźnik położenia przestrzennego

Rys. 5. Wskaźniki systemu Flight Environment

konuje obliczenia i przekazuje na odpowiednie wskaźniki następujące parametry (rys. 5):

- prędkość przyrządową samolotu,
- liczbę Macha,
- prędkość wznoszenia lub opadania,
- kąt natarcia,
- kąt ślizgu,
- wysokość barometryczną.

Sercem centrali danych jest procesor danych powietrznych (Central Air Data Computer), który odpowiada za przekształcenie informacji wejściowych na zrozumiałą formę i przekazanie ich do innych systemów pokładowych samolotu.

• SYSTEM NAWIGACJI WEDŁUG RZĘBY TERENU DTS

System nawigacji według rzeźby terenu umożliwia pilotowi skryte podejście w rejon celu lub ominięcie wyznaczonej strefy zagrożenia. Przed planowanym lotem dane o rzeźbie terenu w rejonie lotu – w postaci mapy cyfrowej (Digital Flight Map – DFM) – są wpisane do pamięci przenośnej (Advanced Data Transfer Cartridge), którą następnie wsuwa się do złącza przesyłu danych (Advanced Data Transfer Unit – ADTC) w kabinie samolotu, skąd poprzez magistralę danych (standard MIL STD-1553) są przesyłane do odpowiednich urzą-

dzeń awioniki. Pilot w czasie lotu ma możliwość wyboru jednego z pięciu rodzajów pracy:

• **Terrain Referenced Navigation (TRN)** – system bada korelację pomiędzy mierzoną wysokością a zapisaną w mapie cyfrowej i wypracowuje współczynnik dokładności odwzorowania wykorzystywany w innych rodzajach pracy systemu. Stosowany w nawigacji również w przypadku „zgubienia” na dłuższy czas sygnału przez GPS.

• **Predictive Ground Collision Avoidance System (PGCAS)** – system porównuje bieżące wskazania w płaszczyźnie pionowej i poziomej z danymi o rzeźbie terenu oraz danymi o przeszkodach zapisanymi w ADTC. W wyniku porównania system ostrzega pilota o przeszkodach terenowych bądź możliwej kolizji z ziemią, wyświetlając na HUD znacznik Pull-Up oraz sygnał dźwiękowy „Pull-Up, Pull-Up”.

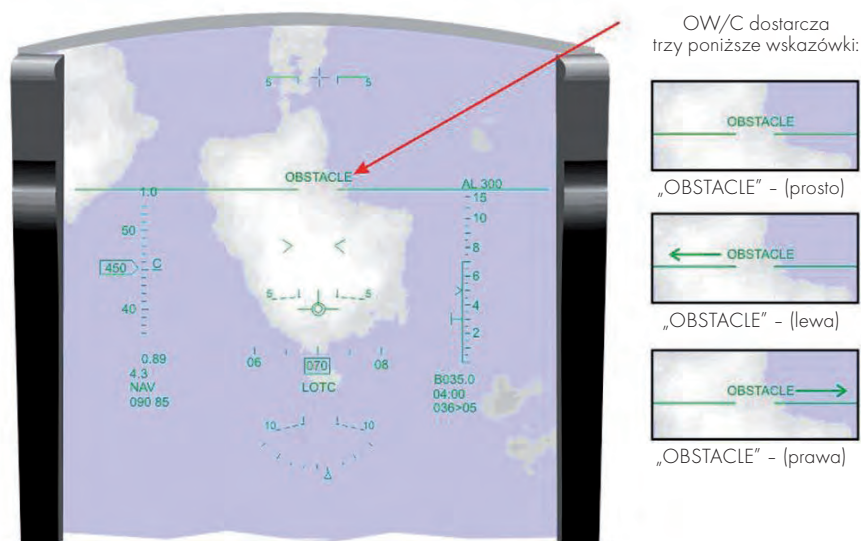
• **Data Base Terrain Following (DBTF)** – system umożliwia pilotowi sterowanie samolotem po nakazanej trasie, kierując nim zgodnie ze znacznikami zmiany wysokości umieszczonymi na HUD, utrzymując lot na stałej nakazanej wysokości nad terenem (Terrain Clearance Height TCH), ustalonej wcześniej przez pilota.

• **Obstacle Warning/Cueing (OW/C)** – system wykorzystując bazę danych o przeszkodach zapisaną w ADTC oraz aktualne położenie samolotu w płaszczyźnie pionowej i poziomej, ostrzega pilota o zbliżających się przeszkodach na trasie lotu samolotu, wyświetlając na wyświetlaczu HUD informację „OBSTACLE” i wskazując kierunek przeszkody (rys. 6).

• **Passive Ranging** – system umożliwia pilotowi wyznaczenie naziemnego celu, a system określa odległość skośną do niego, emitując przy tym minimalną ilość energii elektromagnetycznej bądź całkowicie „cicho”.

• POKŁADOWY INTERROGATOR-TRANSPONDER CIT

Transponder bloku CIT jest elementem związanym z kontrolą ruchu lotniczego. Naziemne radary obserwacji przestrzeni powietrznej posiadają własne interogatory, czyli urządzenia wysyłające sygnały zapytania do statków powietrznych znajdujących się w zasięgu ich działania. Uzyskiwane odpowiedzi pozwalają kontrolerowi jednoznacznie zidentyfikować dany obiekt umiejscowiony na konkretnym azymucie i odległości od



Rys. 6. Wskaźnik HUD w rodzaju pracy OW/C i PGCAS

lotniska. W takim kontekście transponder jest źródłem informacji nawigacyjnej (rys. 7a).

Oczywiście, z punktu widzenia wojskowego statku powietrznego blok CIT musi przede wszystkim zapewnić identyfikację przynależności innych obiektów na zasadzie „swoi-obcy”. Interrogator statku powietrznego współpracuje z radarem pokładowym, wysyłając zapytania o przynależność w tym kierunku, w jakim aktualnie „patrzy” radar. Uzyskiwane odpowiedzi, obrazowane z zastosowaniem odpowiedniej symboliki na wyświetlaczach wielofunkcyjnych (rys. 7a), pozwalają pilotowi określić miejsca położenia zarówno obiektów obcych, jak i własnych w stosunku do jego pozycji.

• SYSTEM WYMIANY INFORMACJI TAKTYCZNEJ

Samolot F-16 to pierwszy statek powietrzny w naszym lotnictwie wykorzystujący możliwości pracy w systemie wymiany informacji taktycznej. NATO stosuje kilka standardów wymiany informacji znanych jako TADIL (Tactical Digital Information Links), popularnie określanych jako „Link” i odpowiednio oznaczanych, np.: Link-4A, Link 11,

Link-16. Standard, w jakim pracują pokładowe terminale MIDS „polskiego” F-16, to TADIL-J (nazwa stosowana w USA), czyli Link-16 (nazwa używana w NATO). System ten pozwala pilotowi na szybkie zorientowanie się w sytuacji w rejonie misji bojowej przedstawianej na wskaźniku wielofunkcyjnym z wykorzystaniem odpowiedniej symboliki. Wśród informacji uzyskiwanych w tym systemie możemy wymienić m.in.:

- linie geograficzne obrazujące obszar rozgraniczenia wojsk własnych i obcych,
- linie geograficzne obrazujące istotne obszary położenia wojsk lub obiektów,

• miejsca położenia statków powietrznych „swoich” i „obcych”,

• znane stanowiska obiektów niebezpiecznych (np. stanowiska artylerii przeciwlotniczej, wyrzutni pocisków klasy ziemia-powietrze, radarów obserwacji przestrzeni powietrznej),

• położenie uprzednio ustalonego punktu odniesienia dla obszaru wykonywania zadania bojowego, jak również w każdej chwili namiar i odległość do tego punktu (rys. 7b).

• RADAR POKŁADOWY FCR

Radar pokładowy AN/APG-68(V)9 to koherentny, wielozadaniowy radar im-



Rys. 7. Wskaźnik wielofunkcyjny MFD (Multifunction Display). a) Widoczne umiejscowienie rozpoznawanych obiektów w azymucie i odległości w stosunku do naszego samolotu: obiekty w zielonych okręgach – rozpoznane jako „swoje”, obiekt w żółtym kwadracie – rozpoznany jako „prawdopodobnie swój”. b) Widoczne nałożone na mapę terenu dane o położeniu różnych obiektów uzyskane z systemu wymiany informacji taktycznej

REKLAMA

DKS
KOPIOWANIE
BEZ PROBLEMÓW

KIP 7000

- 4 rolki
- 600 x 600 dpi
(1200 x 800 dpi modułowane
wielkością plamki)

KIP 7000

- Kolorowy skaner
- Polskojęzyczny panel dotykowy
- Sieciowy kontroler druku i skanowania

Cyfrowe kopiarki A0 „Blue Line” – nowa linia KIP
PRZEKROCZONE GRANICE WYDAJNOŚCI
7 A0 / min., 25000 mb / msc



W ofercie DKS
Oprogramowanie KIP -
Pozostałe modele -
wielkoformatowych
kopiarek, skanerów i składarek KIP



www.dks.pl

Autoryzowany serwis KIP
7 lat na rynku maszyn wielkoformatowych
Ponad 100 instalacji KIP w Polsce

Kolorowe kopie na dowolny ploter atramentowy jednym dotknięciem
Najniższe koszty eksploatacji (od 40 gr / A0)

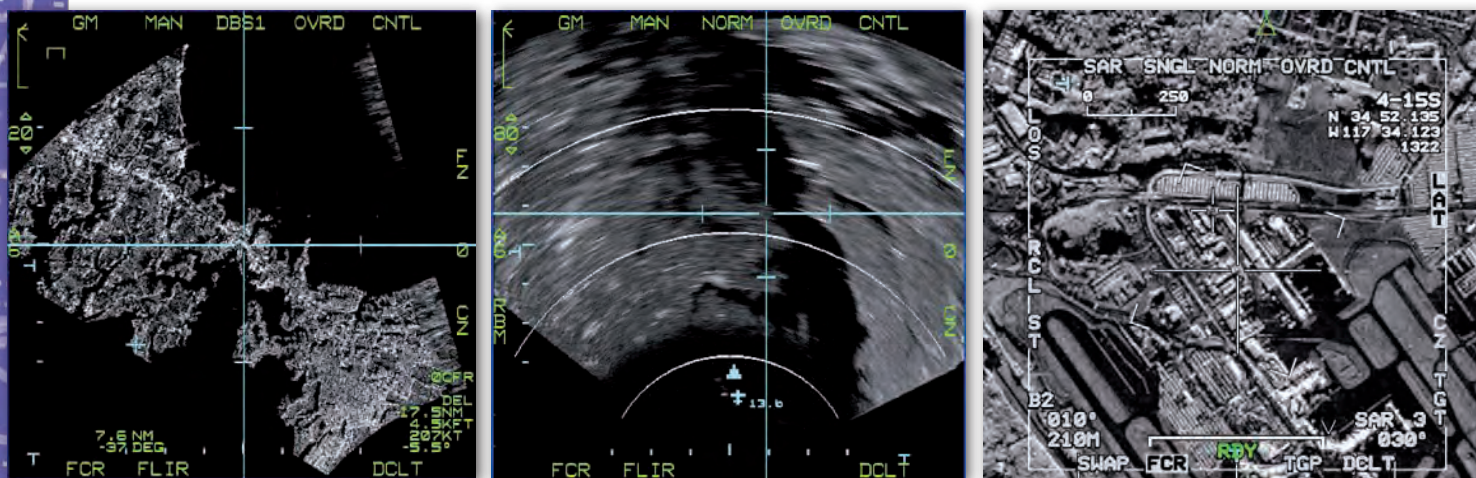
Centrala Gdańsk: Trakt Św. Wojciecha 29, 80-044 Gdańsk; tel. (058) 309 03 07

Oddział Warszawa: ul. Kolejowa 11/13, 00-961 Warszawa; tel. (022) 632 12 09

Oddział Katowice: ul. Ks. Bp. Bednorza 2a/6, 40-337 Katowice Szopienice; tel. (032) 730 01 11

Oddział Poznań: ul. Chlebowa 4/8, 61-003 Poznań; tel. (061) 842 58 84





Rys. 8. Przykłady zobrazowania powierzchni ziemi na radarze pokładowym dla różnych rodzajów pracy: a) Ground Mapping, b) Doppler Beam Sharpening, c) Synthetic Aperture Radar

pulsowo-dopplerowski. Spełnia on wiele różnych zadań w dwóch głównych rodzajach pracy: powietrze-powietrze (Air-to-Air, A-A) i powietrze-ziemia (Air-to-Ground, A-G), wykorzystując zaawansowane technologicznie rozwiązania obróbki cyfrowej sygnałów. Zasięg wykrywania radaru wynosi do 160 mil morskich w wybieranych przez pilota podzakresach 10, 20, 40, 80, 160 NM. Zakres obserwacji przestrzeni to $\pm 60^\circ$ w azymucie. Telewizyjne przeszukiwanie w elewacji w zakresie $\pm 60^\circ$ jest możliwe od pojedynczego przejścia wiązki radaru w wyznaczonym zakresie azymutalnym do czterokrotnego, z kolejnym obniżaniem lub podnoszeniem wiązki radaru. Podane wartości zakresów przeszukiwania zmieniają się zależnie od rodzaju pracy radaru. Pilot obsługuje radar, używając przycisków umieszczonych na krawędziach wyświetlaczy wielofunkcyjnych (MFDS) oraz przełączników i przycisków na dźwigni sterowania silnikiem (Throttle Grip) i drążku sterowania (Side Stick Controller SSC).

Spośród wielu możliwych rodzajów pracy kilka wykorzystuje się jako pomocnicze w trakcie realizacji zadań nawigacyjnych:

● **Ground Mapping** (rys. 8a) – zobrazowanie terenu z niską rozdzielczością, uwarunkowaną rzeczywistą szerokością charakterystyki antenowej (wiązki) radaru. Przemiatając wiązką teren przed sobą, radar tworzy jego obraz. Funkcja ta może być wykorzystana do wykrywania celów naziemnych lub do uaktualniania danych systemu nawigacji.

● **Doppler Beam Sharpening** (rys. 8b) – dopplerowskie zawężanie wiązki. Zo-

brazowanie terenu ze średnią rozdzielczością obejmujące fragmenty terenu położone nie więcej niż 15° od kierunku lotu. Zapewnia rozróżnialność rzędu 8 miliradianów w azymucie i 100 metrów w odległości.

● **Synthetic Aperture Radar** (rys. 8c) – radar z syntetyczną aperturą. Zobrazowanie terenu z dużą rozdzielczością, wykorzystujące efekt syntetyzowania apertury anteny. Zdolność rozdzielcza w azymucie rzędu jest 1 miliradiana, w odległości 20 metrów i mniej.

● **Air To Ground Ranging** – pomiar odległości do wykrytych celów naziemnych (nawodnych) wzdłuż linii obserwacji, wykorzystywany do celów rozpoznawczych i celowniczych.

● **Beacon** – radiolatarnia. Umożliwia wykrywanie i śledzenie radiolatarni, pobudzonej do pracy odpowiednio zakodowanym sygnałem radaru. Funkcja wykorzystywana również do ułatwienia spotkania z samolotem-cysterną.

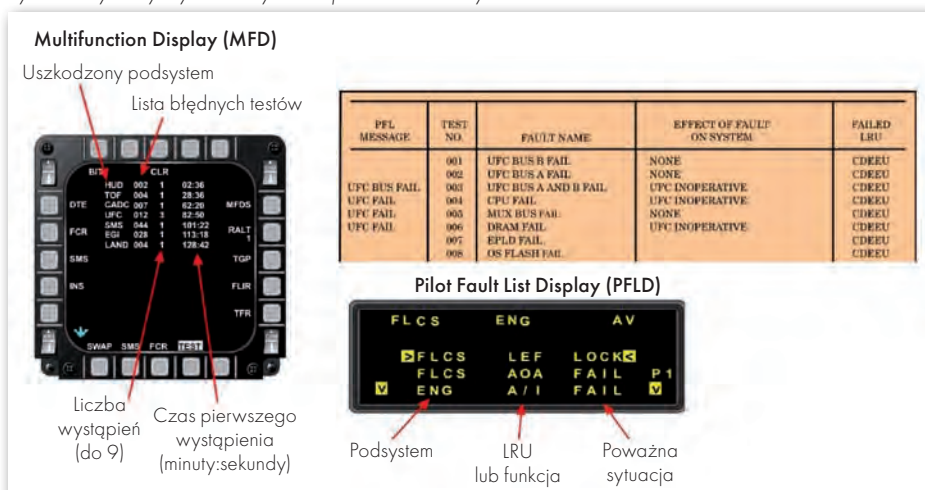
• DLACZEGO AŻ TYLKO SYSTEMÓW?

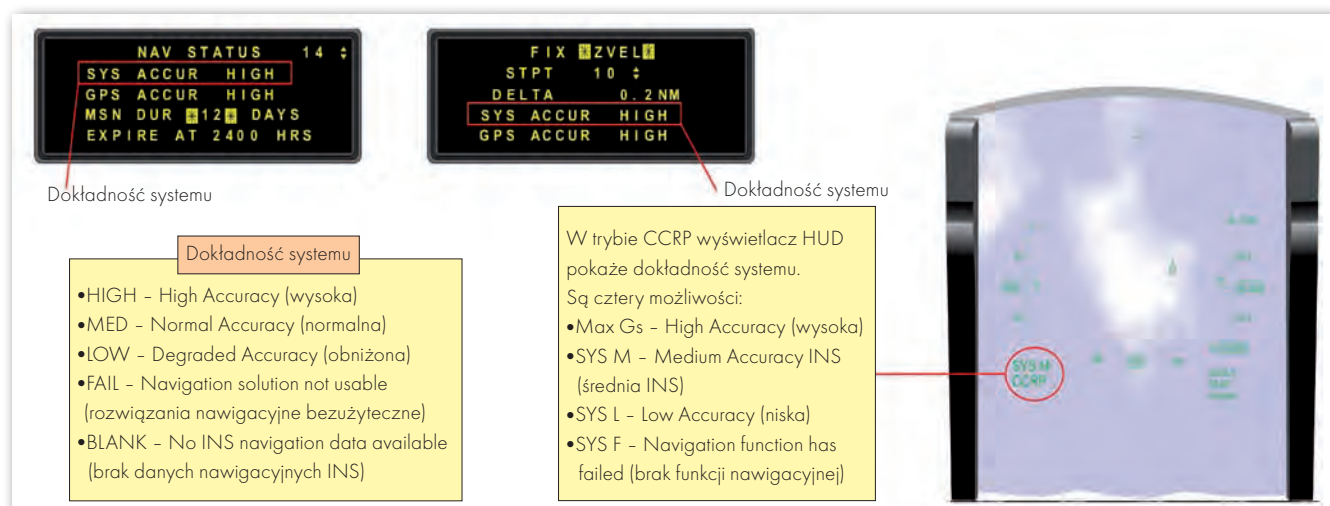
Zapoznając się z przedstawioną charakterystyką systemów nawigacyjnych znajdujących się na pokładzie samolotu F-16, można sobie zadać pytanie, dlaczego jest ich tak dużo. Czy nie wystarczyłby jeden? Należy sobie jednak zdać sprawę z tego, że czynnikami decydującymi o jakości systemów nawigacyjnych samolotu wojskowego są następujące cechy:

- dostępne funkcje,
- zasięg działania,
- dokładność,
- suwerenność,
- autonomiczność,
- niezawodność.

Stopień wykorzystania pokładowych systemów nawigacyjnych zależy oczywiście od charakteru aktualnie wykonywanego lotu (zadania): inny będzie w przypadku lotów treningowych, inny podczas przelotów pomiędzy lotniskami.

Rys. 9. Przykłady wyświetlanych niesprawności na wyświetlaczu MFD i PFLD





Rys. 10. Przykłady degradacji wypracowanych danych nawigacyjnych

kami, a jeszcze inny w przypadku realizacji misji bojowej. W codziennych warunkach szkolenia lotniczego w okresie pokoju niektóre z systemów nawigacyjnych są nawet niewykorzystywane (np. funkcje nawigacyjne radaru pokładowego), inne zaś pracują „w tle”, nie absorbując pilota (np. współpraca systemu IFF z ośrodkami kontroli ruchu lotniczego).

Kolejne systemy nabierają znaczenia tylko w specyficznych etapach lotu, np:

- VOR – podczas przelotów po trasach z wykorzystaniem cywilnych pomocy radionawigacyjnych,

- ILS – podczas wykonywania podejścia do lądowania na lotniskach wyposażonych w ten system (zwykle będą to lotniska cywilne, choć nie zawsze),

- TACAN – podczas dolotów do lotnisk wojskowych.

Ciekawostką jest tu podejście do kwestii sprawności samolotu i jego systemów, które zmieniło się w naszym lotnictwie wojskowym wraz z wprowadzeniem do eksploatacji samolotu F-16. Przed jego pojawieniem się statki powietrzne musiały wykazywać 100% sprawnych urządzeń i systemów pokładowych, by mogły być dopuszczone do lotu. W przypadku F-16 decydują o tym dwa czynniki:

- rodzaj wykonywanego zadania, a zatem wykorzystanie lub nie ewentualnie niesprawnego systemu podczas lotu,

- wpływ niesprawności na bezpieczeństwo wykonania lotu.

Przykładem może być tu fakt szeroko opisywany w prasie – przelotu do Polski samolotu z niesprawnym radarem pokładowym. FCR nie był w niczym do tego potrzebny (nie planowano jego wykorzystania, czyli nie wpływał na

bezpieczeństwo lotu), a zatem lot mógł się odbyć.

Odmienne znaczenia nabierają pokładowe systemy nawigacyjne w warunkach lotu na zastosowanie bojowe i to niezależnie od tego, czy będzie to oznaczało wykonanie zadania typu „powietrze-powietrze” (np. walka manewrowa), czy też „powietrze-ziemia/woda” (np. bombardowanie). Wspomniane wcześniej systemy nawigacyjne o charakterze bardziej „cywilnym” schodzą na plan dalszy. Znaczenia podstawowego nabierają zaś systemy o zastosowaniach stricte wojskowych umożliwiające:

- precyzyjne dotarcie do miejsca wykonania zadania (zintegrowany system GPS/INS),

- wykonanie tego podejścia w sposób maksymalnie skryty (radiowysokościomierz i funkcje radaru pokładowego umożliwiające lot według rzeźby terenu),

- uzyskiwanie w trakcie wykonywania misji bojowej wszelkiej dostępnej informacji o nowych, wykrytych obiektach stanowiących zagrożenie – ich lokalizacji w obszarze naszego działania (system wymiany informacji taktycznej Link-16),

- identyfikację w każdej chwili innych obiektów jako „swoj” lub „obcy” z wykorzystaniem specjalnie szyfrowanych sygnałów zapytań i odpowiedzi.

Dzięki wbudowanemu systemowi autotestu niemal każdego urządzenia, pilot na bieżąco ma informacje o niesprawnych podzespołach lub o tym, że dane przekazywane przez system są obciążone dużym błędem. Informacje o statusie niesprawności ukazują się na stronie testowej wyświetlacza wielofunkcyjnego MFD oraz na wyświetlaczu PFLD (rys. 9).

Na MFD przedstawiona jest nazwa nieprawidłowo pracującego systemu, numer błędu, ile razy wystąpił błąd oraz w której minucie i sekundzie stało się to po raz pierwszy. Dzięki określonej numerowi błędu, obsługa naziemna ma możliwość szybkiego i precyzyjnego (z dokładnością do podzespołu w bloku) zlokalizowania przyczyny powstałej niesprawności. Na PFLD natomiast wyświetlane są błędy związane z systemami układu sterowania samolotem, silnika oraz awioniki wraz z określeniem wpływu usterki na działanie systemu. Przy większej liczbie błędów są one wyświetlane w kolejności ważności (rys. 9).

W przypadku wypracowywania danych nawigacyjnych z dokładnością niższą niż najlepsza, jaka jest określana przez system, pilot jest powiadamiany o tym fakcie poprzez wyświetlenie odpowiedniej informacji na HUD lub może przejść do strony statusu nawigacji na wyświetlaczu DED (rys. 10).

Podsumowując, nie ma jednego, uniwersalnego systemu nawigacyjnego zapewniającego dostarczenie wszystkich niezbędnych pilotowi parametrów nawigacyjnych z odpowiednią dokładnością i pewnością. Każdy z systemów spełnia inne funkcje oraz charakteryzuje się odmiennymi właściwościami. Zastosowanie tak różnorodnych systemów nawigacyjnych pozwala pilotowi samolotu F-16 na wykonanie każdego zadania, w każdych warunkach bojowych.

ADAM BRZUZEK,
ARKADIUSZ PAWLIK,
ANDRZEJ RYPUŁAK
Katedra Awioniki i Systemów
Sterowania WSOSP Dęblin