



Analiza istniejących systemów nawigacji lotniczej. Obsługa metrologiczna testera TACAN AN/ARM-188

PIOTR CZUJ

Specjalistyczny Wojskowy Ośrodek Metrologii, Zakład Kalibracji Elektrycznych Przyrządów
Pomiarowych, 61-325 Poznań, ul. Silniki 1, p.czuj@metrologia.wp.mil.pl

Streszczenie. W pracy zostały scharakteryzowane wybrane systemy nawigacji lotniczej za szczególnym zwróceniem uwagi na system TACAN (*TACTical Air Navigation*). Ponadto w artykule przedstawiono aparaturę kontrolno-pomiarową (tester AN/ARM-188) wykorzystywaną do sprawdzenia systemu nawigacyjnego TACAN na samolocie wielozadaniowym F-16 oraz zaprezentowano stanowisko pomiarowe do kalibracji ww. testera.

Słowa kluczowe: systemy nawigacji, TACAN, tester, obsługa metrologiczna

1. Wprowadzenie

Jednym z fundamentalnych problemów, przed którymi stanął człowiek, jest problem lokalizacji. Od wieków ludzie patrzyli w niebo, gdzie gwiazdy wskazywały im drogę. Powstało wiele metod do wyznaczania pozycji. Dziś zamiast gwiazd wypatrują satelitów lub naziemnych radiolatarni. Niezmienna jednak pozostaje rola nawigacji polegająca na określaniu pozycji i parametrów ruchu (prędkości, kursu) jednostki ruchomej — człowieka, pojazdu, okrętu czy samolotu. Jednoznaczne określenie współrzędnych położenia względem punktów orientacyjnych może być realizowane poprzez:

- a) pomiar dwóch kątów (zasada goniometrii),
- b) pomiar odległości (w przypadku systemów z radiolatarniami umieszczonymi na orbicie okołoziemskiej wymagany jest pomiar odległości do minimum trzech radiolatarni),
- c) pomiar kąta i odległości (współrzędnych biegunowych),

- d) pomiar stosunku odległości statku powietrznego do co najmniej dwóch par radiolatarni (zasada systemów hiperbolicznych),
- e) zliczenie zmian współrzędnych obiektu, począwszy od punktu o znanych współrzędnych.

Zatem według metody określania położenia, systemy nawigacyjne można podzielić na:

- a) kątowe,
- b) odległościowe,
- c) odległościowo-kątowe,
- d) hiperboliczne,
- e) zliczeniowe.

W przypadku nawigacji lotniczej bardziej praktyczne jest rozróżnienie systemów pod kątem obszaru zastosowania:

- a) systemy średniego i bliskiego zasięgu, podstawowe dla nawigacji na obszarach dużego zagęszczenia dróg powietrznych i lotnisk,
- b) systemy radionawigacyjne dalekiego zasięgu, stosowane głównie na trasach międzykontynentalnych i w nawigacji morskiej,
- c) satelitarne systemy radionawigacyjne, ze względu na dużą dokładność i globalny zasięg często traktowane jako panaceum na wszystkie problemy nawigacyjne,
- d) urządzenia do nawigacji bezwładnościowej, do niedawna stosowane tylko w nawigacji dalekodystansowej, obecnie podstawowe w zintegrowanych systemach nawigacyjnych samolotów komunikacyjnych i wojskowych,
- e) systemy lądowania przy ograniczonej widoczności.

Każda z powyższych kategorii jest reprezentowana przez rozmaite techniczne systemy nawigacyjne — zarówno nowoczesne, jak i starszej generacji. W ostatnim dziesięcioleciu rozwój metod nawigacji lotniczej idzie raczej w kierunku automatycznego zbierania i obróbki wszelkiej dostępnej informacji nawigacyjnej z istniejących systemów radionawigacyjnych. Zebrane dane, opracowane przez komputerowy system zarządzania lotem, umożliwiają lot po dowolnie zaprojektowanej trasie, niezależnej od rzeczywistej lokalizacji naziemnych pomocy nawigacyjnych.

Pewność i dokładność informacji nawigacyjnej zależy tak samo od jakości i ilości systemów technicznych, jak i od ludzi, którzy z nich korzystają, obsługują czy utrzymują w należnym im stanie. Rosnący z każdym rokiem ruch w powietrzu powoduje coraz większe obciążenie pracą personelu latającego i naziemnego. Ewolucja systemów nawigacyjnych zmierza do zidentyfikowania i eliminacji miejsc, w których do nawigacji i pilotażu może dostać się błąd [1].

2. System VOR

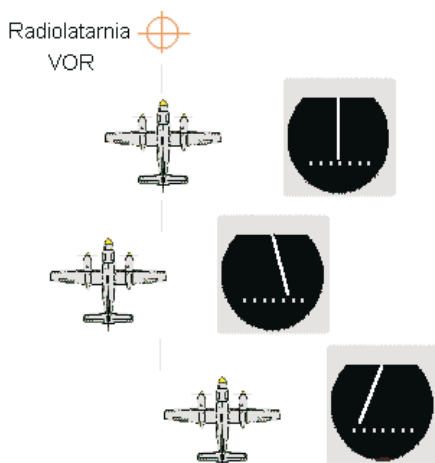
VOR (ang. *VHF Omni-directional Range*) to rodzaj radiolatarni stosowanej w lotnictwie, wykorzystującej pasmo radiowe (108-117,9) MHz.

W sygnale tej radiolatarni przenoszona jest informacja azymutalna. Daje to możliwość prezentacji w urządzeniach pokładowych takich informacji jak:

- namiar magnetyczny statku powietrznego od radiolatarni,
- osiągnięcie żądanego namiaru do lub od radiolatarni,
- minięcie radiolatarni,
- identyfikator radiolatarni (trzy znaki zakodowane alfabetem Morse'a).

Zasada działania VOR jest zbliżona do działania latarni morskiej. Radiolatarnia nadaje wiązkę sygnału radiowego, która obraca się wokół radiolatarni 30 razy na sekundę. Równocześnie nadawana jest faza stała we wszystkich kierunkach zmodulowana tonem 30 Hz. W chwili kiedy wiązka fazy zmiennej przechodzi przez północ magnetyczną, następuje maksymalny poziom modulacji fazy stałej. Wyznaczenie azymutu polega na zmierzeniu czasu, jaki mija pomiędzy najwyższym poziomem fazy stałej a odebraniem sygnału fazy zmiennej. Radiolatarnie VOR są zwykle wyposażone w złożone systemy kontroli sygnału i podtrzymywania pracy (akumulatory, klimatyzatory).

Częstotliwości pracy: (108-117,9) MHz (w zakresie od 108 MHz do 112 MHz co 200 kHz, pozostałe kanały wykorzystywane są przez system ILS). Moc: (100-200) W lub 50 W dla tzw. T-VOR — radiolatarni o obniżonej mocy ze względu na duże zagęszczenie urządzeń, np. w okolicach lotnisk. Dokładność: $\pm 2,5^\circ$. Dokładność prowadzenia po linii drogi: $\pm 5,2^\circ$ [3].



Rys. 1. Wskazania TDI przy ustawieniu selektora na namiar 0 stopni (do radiolatarni)

3. System VOR/DME

System odległościowo-kątowy VOR/DME jest obecnie podstawowym systemem radionawigacji bliskiego i średniego zasięgu. Jest on połączeniem systemu kątowego VOR z odległościomierzem DME. Niekiedy zamiast klasycznego DME stosuje się kompatybilną część odległościową systemu TACAN. Taką pomoc radionawigacyjną nazywa się VORTAC albo VOR/DMET (VOR–DME–TACAN).

System pomiaru odległości DME (*Distance Measuring Equipment*) pracuje na zasadzie odzewowej, co oznacza, że obie jego części — pokładowa i naziemna są urządzeniami nadawczo-odbiorczymi. Pomiar jest inicjowany przez zestaw pokładowy, który wysyła pary impulsów radiowych, nazywanych zapytaniem, do zestawu naziemnego. Urządzenie naziemne odbiera je i identyfikuje, po czym wysyła odpowiedź. Pojedyncze urządzenie naziemne jest w stanie jednocześnie obsługiwać zapytania z ponad 100 urządzeń pokładowych. Aby wszystkie naziemne stacje DME, niezależnie od producenta i technologii wykonania, były kompatybilne, czas od odebrania zapytania do wysłania odpowiedzi jest zawsze jednakowy i wynosi 50 mikrosekund.

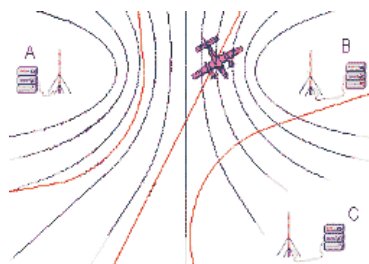
Radiolatarnia VOR/DME nadaje znaki identyfikacyjne obu urządzeń. Normalnie jest słyszalny znak VOR — trzy litery kodem Morse’a, nadawane tonem 1020 Hz. Wiele odbiorników ma przełącznik umożliwiający odsłuch identyfikacji DME, nadawanej tonem 1350 Hz [1].

4. Hiperboliczne systemy nawigacyjne dalekiego zasięgu

Systemy hiperboliczne, czyli oparte na pomiarze zależności czasowych sygnałów synchronicznie nadających radiolatarni, od czasów drugiej wojny światowej były podstawą nawigacji dalekiego zasięgu. Obecnie bazowane na ziemi systemy dalekiego zasięgu są wypierane z lotnictwa cywilnego przez systemy bezwładnościowe i satelitarne.

Nazwa systemów hiperbolicznych bierze się stąd, że zbiory punktów o stałej różnicy odległości od dwóch radiolatarni (izochrony) mają kształt hiperbol. Statek powietrzny, odbierając sygnały dwóch radiolatarni, wyznacza jedną hiperbolę, na której się znajduje. Na podstawie odbioru sygnałów nowej pary radiolatarni wyznacza następną hiperbolę pozycyjną. Przecięcie obu hiperbol ustala dokładną pozycję. Do prowadzenia nawigacji hiperbolicznej służyły specjalne mapy z wykreślonymi rodzinami hiperbol dla każdej pary radiolatarni w łańcuchu.

Metoda hiperboliczna jest wystarczająco dokładna do nawigacji dalekodystansowej, a niektóre systemy przyjęły się nawet w geodezji — były to Decca i francuski system impulsowy Syledis, pracujący na częstotliwościach w okolicy 430 MHz. Ten ostatni należy uznać za najdokładniejszy system hiperboliczny, osiągnęto bowiem dokładność rzędu centymetrów.



Rys. 2. Sygnały hiperboliczne

5. Bezwładnościowe systemy nawigacyjne

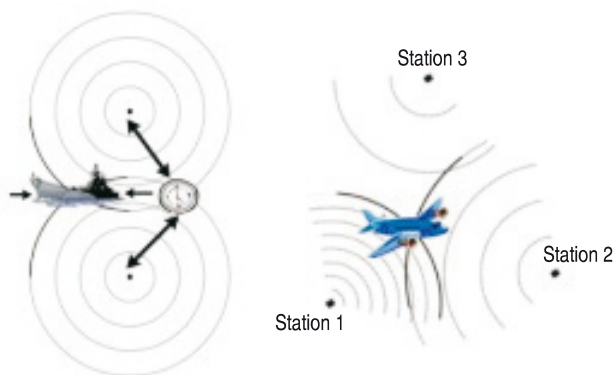
Bezwładnościowe systemy nawigacyjne, nazywane też inercyjnymi (IRS — *Inertial Reference System* lub INS — *Inertial Navigation System*), są podstawowym środkiem nawigacji dalekiego zasięgu samolotów komunikacyjnych. Zliczają zmiany położenia statku powietrznego w przestrzeni od punktu początkowego, na zasadzie pomiaru parametrów lotu: czasu, zmian kierunku lotu we wszystkich osiach, przyspieszeń i danych aerodynamicznych.

Do pomiaru obrotu w przestrzeni służą żyroskopy (mechaniczne lub optyczne). Liniowe zmiany prędkości są mierzone przez przyspieszeniomierze (akcelerometry).

6. System LORAN

Hiperboliczny system nawigacyjny LORAN (*Long Range Navigation*) jest stosowany w dwóch odmianach: LORAN A (wcześniejszy) i LORAN C (obecny).

Radiolatarnie LORAN są zorganizowane w łańcuchy: stacja główna (*master*) i stacje podległe (*slave*). Stacja główna inicjuje nadawanie grup impulsów



Rys. 3. System LORAN

miarowych, wyzwalając tym samym nadawanie stacji podległej. Każdy łańcuch LORAN C ma jedną stację główną (V) i cztery (choć może być więcej) stacje podległe, oznaczane W, X, Y, Z. LORAN C pracuje na jednym kanale 100 kHz. Dokładność wyznaczania położenia wynosi 0,25 NM (*Nautical Miles* — mil morskich), czyli około 450 m [1].

7. System RSBN

Radiotechniczny system bliskiej nawigacji RSBN-4N jest bezkierunkowym urządzeniem radionawigacyjnym, przeznaczonym do pomiaru azymutu i odległości samolotu od miejsca rozwinięcia systemu. RSBN-4N przy współpracy z aparaturą pokładową RSBN-5S (lub nowszą) zapewnia:

- a) ciągle przekazywanie pilotowi na pokład statku powietrznego miejsca jego położenia we współrzędnych biegunowych (azymut, odległość),
- b) wyprowadzenie statku powietrznego w dowolny wyznaczony punkt leżący w zasięgu systemu,
- c) określenie momentu dolotu statku powietrznego do wyznaczonego punktu oraz momentu przelotu nad punktem,
- d) korekcję autonomicznych liczników przebytej drogi,
- e) lot z wykorzystaniem pilota automatycznego.

Pozycję statku powietrznego przy wykorzystaniu systemu RSBN określa się w układzie współrzędnych biegunowych.

Pomiar odległości na pokładzie statku powietrznego przeprowadza się za pomocą odległościomierza pracującego impulsowo na zasadzie odzewowej.

Azymut określa się przez pomiar czasu, jaki upłynął od momentu początkowego określanego przez sygnał „Zbieżność północna” wspólnego dla wszystkich statków będących w zasięgu systemu, do momentu odbioru przez dany statek powietrzny sygnału azymutalnego. Antena zasilana z urządzenia nadawczego drgań ciągłych emituje dwulistkową charakterystykę kierunkową [2].

8. System TACAN

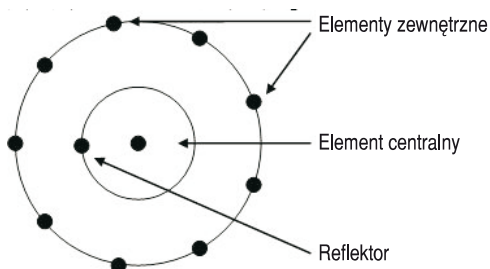
System TACAN jest systemem nawigacji lotnictwa taktycznego bliskiego zasięgu. Został opracowany w Stanach Zjednoczonych do zastosowań wojskowych, lecz po przyjęciu do użytku przez kraje NATO rozpowszechnił się także w lotnictwie cywilnym ze względu na wysoką dokładność i dużą liczbę zainstalowanych radiolatarni. System TACAN ogólnie może być określony jako wojskowa wersja systemów VOR/DME, lecz jest około dziewięciokrotnie dokładniejszy niż VOR. Działa on w paśmie częstotliwości (962-1213) MHz.

Zasada wyznaczania kąta oparta jest na sygnale radiolatarni TACAN, która zawiera zakodowaną informację o azymucie względem północy magnetycznej. Podobnie też informacja ta jest emitowana w postaci zmiennego w azymucie przesunięcia między sygnałem odniesienia a sygnałem fazy zmiennej. Pokładowy odbiornik systemu TACAN wyznacza namiar na radiolatarnię (azymut) przez porównanie czasu między grupą impulsów odniesienia a maksimum fazy zmiennej. Obecność dodatkowego przebiegu 135 Hz polepsza precyzję pomiaru — „drobniejsze” fale można dokładniej przymierzyć do impulsów północy. Typowa radiolatarnia ma moc wyjściową około 10 kW. Ponieważ pracuje ona impulsowo w paśmie (962-1213) MHz, podzielonym na 256 kanałów z odstępem 1 MHz, wystarcza to do osiągnięcia zasięgu około 300 NM. Ponieważ częstotliwości robocze leżą na pograniczu UKF i mikrofal, zasięg jest zależny od wysokości lotu i warunków propagacyjnych fal radiowych. „Średnia europejska” zasięgu to około 250 km.

Podstawowy system naziemny składa się z transpondera i anteny kierunkowej. Wyposażenie statku powietrznego również zawiera transponder, lecz system antenowy jest anteną dookólną, aby pozwolić na odbiór sygnałów naziemnych niezależnie od miejsca znajdowania się radiolatarni. Urządzenia TACAN znajdujące się na wyposażeniu statku powietrznego zamieniają odebrany sygnał i przedstawiają go w postaci czytelnej dla pilota w postaci azymutu oraz odległości od radiolatarni. System ten może być użyty również do określenia odległości do innego statku powietrznego (tryb ten nazywa się Air-to-Air czyli A/A) jak też azymutu A/A BCN (Air-to-Air Beacon).

9. Konstrukcja anteny radiolatarni naziemnej

Antena radiolatarni składa się ze stacjonarnego elementu otoczonego dwoma cylindrami wykonanymi z materiału izolującego. Element centralny zawiera stos siedmiu pionowych dwustożkowych elementów zapewniających niekierunkowe, koliste pole promieniowania.



Rys. 4. Antena radiolatarni naziemnej

Wewnętrzny cylinder posiada zatopiony w nim przewód o wysokiej impedancji, który zachowuje się jak reflektor emisyjny. Zewnętrzny cylinder składa się z dziewięciu przewodów (również o wysokiej impedancji), które są rozłożone z odstępem 40° od kolejnego (rys. 4). Cylinder wewnętrzny jest na stałe przymocowany do zewnętrznego i obydwa obracają się zgodnie ze wskazówkami zegara z częstotliwością 15 Hz.

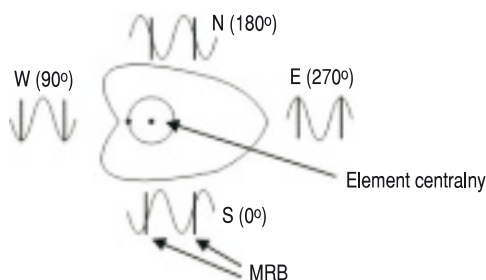


Rys. 5. Radiolatarnia naziemna (rysunek po lewej — wygląd zewnętrzny, rysunek po prawej — wygląd anteny)

10. Wzór promieniowania

Wszystkie impulsy RF są transmitowane przez element centralny (stacjonarny). Jednakże część energii pochodzącej od elementu centralnego jest przechwytywana i ponownie wypromieniowana przez cylinder wewnętrzny. Powoduje to wzmocnienie siły sygnału wypromieniowywanego w jednym kierunku i osłabienie w przeciwnym (czyli okresowe zmiany mocy pola). W rezultacie powstaje kardoidalne pole elektromagnetyczne.

Podczas gdy wewnętrzny cylinder obraca się zgodnie z ruchem wskazówek zegara 900 razy na minutę, pole elektromagnetyczne obraca się również z tą prędkością. Powoduje to zmiany mocy sygnału odbieranego przez statek powietrzny z częstotliwością

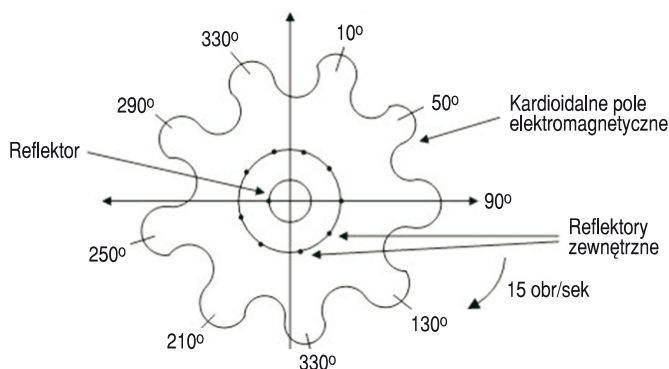


Rys. 6. Pole elektromagnetyczne anteny naziemnej systemu TACAN z MRB

15 Hz. Maksimum odbieranego sygnału przypada, gdy „szczyt” charakterystyki pola układa się w kierunku samolotu. Odbiornik traktuje to jak modulację amplitudy — gdy sygnał modulowany jest sygnałem o częstotliwości 15 Hz.

Aby określić dokładny czas, gdy „szczyt” charakterystyki pola układa się w kierunku wschodnim, transmitowana jest wiązka impulsów odniesienia MRB (*Main Reference Burst*). Ponieważ MRB jest transmitowana raz na okres obrotu cylindrów, sygnał ten jest określany jako sygnał odniesienia 15 Hz.

Każdy z dziewięciu elementów w zewnętrznym cylindrze jest przyczyną podobnego zjawiska jak reflektor (w wewnętrznym), tylko na mniejszą skalę. Powoduje to kolejne zniekształcenie pola, tak że przybiera ono kształt jak na rysunku 7. Jeden obrót cylindrów wytwarza dziewięć minimów oraz dziewięć maksimów sygnału zmodulowanego 15 Hz, więc sygnał odbierany przez odbiornik zmienia się z częstotliwością 135 Hz. Sygnał ten nazywany jest 135 Hz sygnałem zmiennym.



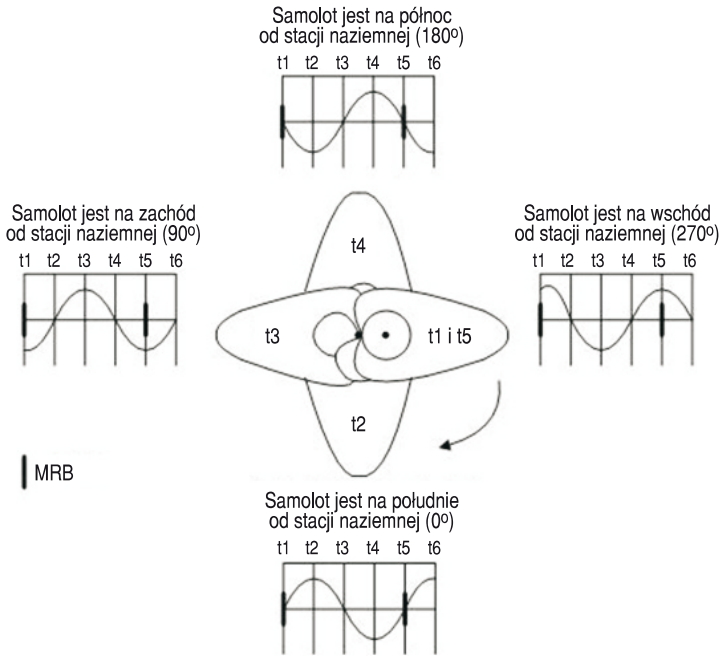
Rys. 7. Pole elektromagnetyczne anteny naziemnej systemu TACAN z ARB

Aby zaznaczyć kiedy poszczególne maksima są w położeniu „na wschód”, transmitowana jest jedna wiązka impulsów odniesienia MRB oraz osiem pomocniczych wiązek impulsów odniesienia ARB (*Auxiliary Reference Burst*). Podsumowując: TACAN zawiera jedną wiązkę impulsów odniesienia MRB, modulację 15 Hz, modulację 135 Hz oraz osiem pomocniczych wiązek impulsów odniesienia ARB.

11. Określanie azymutu

Zgrubne określanie azymutu względem radiolatarni polega na odbiorze nośnej modulowanej sygnałem 15 Hz. Pozwala to na określenie położenia z dokładnością do sektora 40°. Jeżeli samolot jest np. na wschód od radiolatarni (czyli azymut 270°), MRB zostanie wygenerowane na szczycie sygnału modulującego 15 Hz — to spowoduje wskazania przyrządów pokładowych na azymut 270°, aby skierować się

na radiolatarnię. Analogicznie, jeżeli samolot jest na południe od radiolatarni (czyli azymut 0°), MRB zostanie wygenerowane na zboczu narastającym sygnału 15 Hz.



Rys. 8. Określanie zgrubne azymutu

Określanie dokładne azymutu bazuje na podobnych zasadach jak zgrubne. Po określeniu zgrubnym, samolot jest umiejscawiany w określonym sektorze 40° . Następnie system wylicza położenie przez porównanie fazy sygnału modulującego 135 Hz z najbliższą znajdującą się wiązką ARB. Przedział czasu pomiędzy wartością maksymalną odebranego sygnału a wiązką MRB zależy właśnie od azymutu samolotu względem radiolatarni. Od azymutu zależy również faza sygnału 135 Hz w odniesieniu do najbliższej wiązki ARB.

12. Określanie odległości

Radiolatarnia naziemna pracująca w systemie TACAN dostarcza również informacji o odległości dzielącej ją od statku powietrznego. Transponder znajdujący się na samolocie wysyła impuls zapytania, który uaktywnia obwód odpowiadający za wysłanie impulsu odpowiedzi w stacji naziemnej. Impuls ten jest wysyłany z pewnym ściśle określonym opóźnieniem ($50 \mu\text{s}$). Czas opóźnienia pomiędzy impulsem zapytania i odpowiedzi jest przeliczany na odległość radiolatarni naziemnej.

13. Sprawdzenia poprawności funkcjonowania systemów nawigacyjnych na przykładzie samolotu F-16

Wielozadaniowy F-16C/D Block 52+ to aktualnie najnowocześniejszy samolot bojowy będący na wyposażeniu Polskich Sił Powietrznych. Ten szeroko znany na świecie i eksploatowany przez siły powietrzne kilkudziesięciu państw samolot wykorzystuje najbardziej zaawansowane technologie umożliwiające rozpoznanie, wykrycie, śledzenie oraz zniszczenie szerokiego spektrum celów powietrznych oraz naziemnych w każdych warunkach atmosferycznych, w dzień i w nocy. Przykładami mogą być: wielofunkcyjny radar z aperturą syntetyczną (SAR) AN/APG-68(v)9, nowoczesne systemy łączności i walki radioelektronicznej (WRE). W F-16 wykorzystano również najnowsze rozwiązania w obszarze systemów nawigacyjnych. Wyposażenie nawigacyjne stanowi przede wszystkim współpracujący z odbiornikiem GPS, bezwładnościowy oparty na laserowych żyroskopach układ nawigacyjny Honeywell H-343, układ nawigacyjny typu TACAN oraz VOR/ILS. Wprowadzono także oprogramowanie typu TERPROM, porównujące ukształtowanie rzeźby terenu, nad którym znajduje się samolot, do tej wprowadzonej z góry do pamięci komputera. Wysokość terenu mierzona jest za pomocą wysokościomierza barometrycznego i radiowego, te wartości także porównywane są z wprowadzoną do pamięci mapą plastyczną (trójwymiarowym modelem powierzchni Ziemi). Całe wyposażenie pilotażowe, nawigacyjne czy zobrazowania taktycznego zintegrowane zostało poprzez Modular Mission Computer (modularny komputer), pozwalając na pełne wykorzystanie informacji otrzymanych od poszczególnych systemów [5].

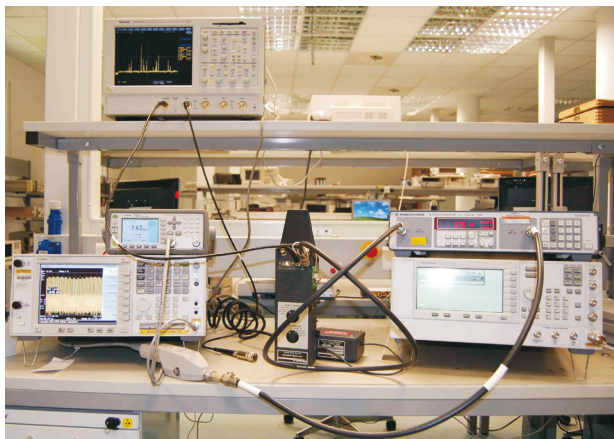
Nowoczesny samolot wielozadaniowy w procesie wieloletniej eksploatacji wymaga wysoko zaawansowanej, specjalistycznej obsługi technicznej. W jej ramach wyposażenie nawigacyjne, jako jeden z elementów gwarantujących bezpieczeństwo lotu, poddawane jest stałym sprawdzeniom z wykorzystaniem specjalistycznej aparatury kontrolno-pomiarowej (testerów).

W przypadku F-16C/D Block 52+ sprawdzeniom podlega m.in. tester AN/ARM-188 — TACAN RAMP TEST SET firmy MPD TECHNOLOGIES INC.

14. Zabezpieczenie metrologiczne testerów systemów nawigacyjnych

Zabezpieczenie metrologiczne procesu eksploatacji samolotu F-16C/D Block 52+ w Siłach Zbrojnych RP realizuje Specjalistyczny Wojskowy Ośrodek Metrologii (SWOM) w Poznaniu. Ośrodek wyposażono w najnowocześniejszą aparaturę pomiarową oraz specjalistyczne stanowiska pomiarowe zapewniające wymagany poziom kontroli metrologicznej wyposażenia obsługowego samolotu, w tym systemów nawigacyjnych.

15. Stanowisko kalibracji testerów systemu TACAN



Rys. 9. Stanowisko kontroli metrologicznej testera TACAN AN/ARM-188

1. Parametry sprawdzane w procesie kalibracji:
 - a) generowana moc wyjściowa — na częstotliwościach (992, 1054, 1116, 1178) MHz na poziomie +25 dBm (z dokładnością ± 3 dB);
 - b) modulacja 15 Hz oraz 135 Hz — weryfikacja obecności modulacji;
 - c) szerokość impulsów — 3,5 μ s (z dokładnością $\pm 0,5$ μ s);
 - d) impulsy głównej wiązki odniesienia:
 - T/R (X) — 12 par impulsów z odstępami 12 μ s, 30 μ s pomiędzy parami (z dokładnością $\pm 0,5$ μ s),
 - T/R (Y) — 13 impulsów z odstępami 30 μ s (z dokładnością $\pm 0,5$ μ s),
 - A/A (X,Y) — 10 impulsów z odstępami 30 μ s (z dokładnością $\pm 0,5$ μ s);
 - e) impulsy pomocniczej wiązki odniesienia:
 - T/R (X) — 6 par impulsów z odstępami 12 μ s, 24 μ s pomiędzy parami (z dokładnością $\pm 0,5$ μ s),
 - T/R (Y) — 13 impulsów z odstępami 15 μ s (z dokładnością $\pm 0,5$ μ s),
 - A/A (X,Y) — 1 para impulsów z odstępami 12 μ s (z dokładnością $\pm 0,5$ μ s);
 - f) impulsy identyfikacji — 740 μ s po pomocniczej wiązce odniesienia (z dokładnością ± 74 μ s);
 - g) impulsy wypełnienia — (z dokładnością ± 90 μ s);
 - h) impulsy odpowiedzi odległości — (z dokładnością $\pm 1,2$ μ s);
 - i) pomiar mocy impulsowej — zakres od 500 W do 3160 W (z dokładnością ± 2 dB).

2. Wzorce robocze i przyrządy kontrolne używane w procesie kalibracji:
 - a) multimetr cyfrowy Agilent 3458A;
 - b) częstotściomierz cyfrowy Agilent 53132A;
 - c) generator sygnałów Agilent E8257D;
 - d) miernik mocy Agilent E4418A z przetwornikiem mocy Agilent 8481A;
 - e) analizator widma Agilent E4440A z opcją Video Out;
 - f) oscyloskop cyfrowy Tektronix TDS5054B;
 - g) tłumik regulowany Agilent 8494B;
 - h) tłumik regulowany Rohde&Schwarz RSP;
 - i) źródło mocy impulsowej Sierracom 2770;
 - j) miernik mocy Gigatronics 8502A z przetwornikiem mocy Gigatronics 17071A;
 - k) generator impulsów Agilent 81101A;
 - l) mieszacz sygnałów Republic TS-3425/ARM;
 - m) tester odstępów czasowych Republic TS-3427/ARM;
 - n) dzielnik mocy Agilent 11667A;
 - o) sprzęgacz kierunkowy 60 dB Epsco 2027-3005.

16. Charakterystyka testera

W skład testera AN/ARM-188 wchodzi tester MTS-100, ładowarka baterii BC-1 oraz tłumik MA-1. Tester MTS-100 jest przyrządem podręcznym, zasilanym wewnętrzną baterią, używanym do sprawdzania systemów TACAN przed lotem lub podczas obsługi okresowych, zarówno normalnym trybem — z sygnałami odbieranymi przez wbudowaną antenę, jak i za pomocą połączenia bezpośredniego. Tłumik wchodzący w skład zestawu pozwala na sprawdzenie metodą bezpośrednią. Ładowarka baterii umożliwia doładowywanie akumulatorów testera. Funkcjonalna walizka zapewnia ochronę przed uszkodzeniem podczas transportu oraz umożliwia przechowywanie przewodów i akcesoriów.

17. Obsługa metrologiczna

Proces obsługi metrologicznej można podzielić na etapy:

1. kalibracja oscylatora wewnętrznego 62 MHz;
2. kalibracja mocy wyjściowej;
3. sprawdzenie obecności modulacji 15 Hz oraz 135 Hz;
4. kalibracja szerokości impulsów głównej i pomocniczej wiązki odniesienia, impulsów identyfikacji oraz impulsów wypełniających;
5. kalibracja opóźnienia odległości oraz błędu dekodowania;
6. kalibracja miernika mocy.

18. Zakończenie

Coraz większa liczba samolotów (zarówno cywilnych, jak i wojskowych) oraz rosnący z roku na rok ruch w powietrzu wymaga zastosowania nowoczesnych i bardzo dokładnych systemów nawigacji lotniczej. Ewolucja tych systemów zmierza do całkowitej automatyzacji, aby w jak najbardziej przystępny i zrozumiały sposób przekazać informacje nawigacyjne załodze.

Jako, że od niezawodności oraz zdolności systemów nawigacji zależy bezpieczeństwo lotów oraz ludzkie życie, powinny one podlegać okresowej kontroli metrologicznej. Systematyczny nadzór nad testerami TACAN pozwala na wcześniejsze zauważenie ich nieprawidłowej pracy lub awarii, a co za tym idzie zapobiega przeniesieniu usterek na systemy pokładowe statków powietrznych.

Artykuł wpłynął do redakcji 13.06.2011 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2011 r.

LITERATURA

- [1] <http://www.heading.pata.pl>
- [2] <http://www.heading.pansa.pl>
- [3] <http://www.gislab.ar.wroc.pl>
- [4] P. Czuj, *Analiza istniejących systemów nawigacji lotniczej. Obsługa metrologiczna testera TACAN AN/ARM-188*, praca dyplomowa, 2009.
- [5] <http://www.militarium.net>

P. CZUJ

Analysis of systems of air navigation. Metrological maintenance of TACAN tester AN/ARM-188

Abstract. In this work, systems of air navigation are characterized, with paying attention to TACAN system (TACTical Air Navigation). Moreover, measuring equipment (AN/ARM-188 tester) is presented which is used to verify TACAN system installed on multitasking plane F-16 and measuring installation for calibration of above-mentioned tester is shown.

Keywords: systems of air navigation, TACAN, tester, metrological maintenance