

Andrzej LEŚNICZAK, Andrzej GĘBURA

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych (Air Force Institute of Technology)

STRUKTURA OBWODÓW POWROTNYCH WOJSKOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH – WYBRANE PROBLEMY NA PRZYKŁADZIE SAMOLOTU SU-22

The structure of recurrent circuits of military aircraft – selected problems based on Su-22

Streszczenie: Artykuł ujmuje kompleksowo problemy związane ze strukturą obwodów powrotnych wojskowych statków powietrznych o metalowej konstrukcji kadłuba. Autorzy opisują problemy związane z wykorzystaniem kadłuba jako obwodu powrotnego prądu elektrycznego oraz z przewodami minusowymi łączącymi kadłub z zaciskami minusowymi odbiornika lub źródła. Wojskowe statki powietrzne są eksploatowane często w trudnych warunkach: podwyższonej wilgotności, zwiększonego zapylenia i zmiennych temperatur. Wszystkie te czynniki sprzyjają zjawiskom intensywnej korozji elektrochemicznej na stykach elementów płatowca lub stykach przewodów elektrycznych z kadłubem. Takie powierzchnie stykowe powinny podlegać monitorowaniu – ITWL opracował liczne procedury pomiarowe dla każdego statku powietrznego. **Słowa kluczowe:** obwód powrotny, metalizacja, połączenie nitowane, przewód minusowy, przewód zerowy, prądy błędzące.

Abstract: This article comprehensively addresses the problems associated with the structure of recurrent circuits of military aircraft with metal fuselage structure. The authors describe the issues concerning the usage of the fuselage as a recurrent circuit of electric current and with negative conductors connecting the fuselage with negative terminals of the receiver or the source. The military aircraft are frequently operated under harsh conditions of increased humidity, dustiness and variable temperatures. All these factors as mentioned above contribute to the occurrence of intensive electrochemical corrosion at the contact points of airframe's elements or electrical conductors' with the fuselage. Such contact surfaces should be subject to monitoring – AFIT has developed the numerous procedures for each aircraft.

Keywords: recurrent circuit, metallization, riveted joint, negative conductor, neutral conductor, stray currents.

1. Wstęp

Instalacja elektroenergetyczna służy do dostarczenia energii elektrycznej lub sygnałów elektrycznych [25]. Obejmuje ona: przewody i kable elektryczne, urządzenia zabezpieczające, ochronne i pomiarowe wraz z ich obudowami i konstrukcjami wsporczymi, jak również rezerwowe źródła energii elektrycznej, takie jak baterie akumulatorowe. We współczesnych statkach powietrznych o konstrukcji metalowej płatowca przewód elektryczny układa się tylko w celu połączenia zacisków „+” źródła energii elektrycznej z zaciskiem „+” odbiornika. Do zamknięcia obwodu elektrycznego niezbędne jest połączenie zacisku „-” źródła z zaciskiem „-” odbiornika, tj. musi być utworzony obwód powrotny. Jako przewód powrotny służy metalowy kadłub statku powietrznego. Aby połączyć zacisk „-” źródła albo odbiornika z kadłubem statku powietrznego stosuje się tzw. przewody minusowe. Charakterystyka obwodów powrotnych i problemy związane z ich eksploatacją przedstawiono na przykładzie samolotu Su-22.

2. Sieć elektroenergetyczna dwuprzewodowa a jednoprzewodowa

Na początku rozwoju lotnictwa statki powietrzne miały pokładową sieć elektroenergetyczną dwuprzewodową, tj. od danego źródła energii elektrycznej wychodziły dwa przewody elektryczne:

- a) dodatni przyłączony do zacisku „+” źródła prądu elektrycznego (prądnicy albo akumulatora),
- b) minusowy przyłączony do zacisku „-” źródła prądu elektrycznego (prądnicy albo akumulatora).

Dodatni przewód łączył zacisk „+” źródła z zaciskiem „+” odbiornika i analogicznie przewód minusowy łączył zacisk „-” źródła z zaciskiem „-” odbiornika. W miarę rozwoju awiacji pojawiały się różnorodne urządzenia zasilane energią elektryczną – pokładowe sieci te stawały się coraz dłuższe i zużywały coraz więcej drogocennej miedzi. Wówczas odbiorniki podłączano równolegle do jednej szyny plusowej i łączono je jednym przewodem dodatnim z zaciskiem „+” źródła. Analogicznie łączono przewód minusowy. Przewody dodatnie przewożono obok minusowych, dzięki czemu wszelkie zakłócenia były automatycznie tłumione, gdyż wytwarzane w przewodach impulsy elektryczne były w przeciwfazie.

W okresie międzywojennym rezygnowano z konstrukcji drewnianych płatowca na korzyść konstrukcji metalowych – możliwe stało się (wzorem przemysłu

samochodowego) wykorzystanie kadłuba jako przewodu powrotnego. Projektanci zakładali, że kadłub statku powietrznego ma nieskończenie małą i stabilną rezystancję oraz nieskończenie wielkie pole przekroju dla drogi przepływu prądu powrotnego. Okazuje się jednak, że nie wszystkie te założenia – przynajmniej nie we wszystkich miejscach kadłuba i nie we wszystkich warunkach lotu, nie we wszystkich stanach obciążenia elektroenergetycznego są spełnione. Kadłub nie jest projektowany jako przewodnik prądu elektrycznego – służy jako konstrukcja nośna o określonych wymaganiach aerodynamicznych. W dodatku, aby zapewnić odpowiednią elastyczność kadłuba konstruktorzy stosują segmentową konstrukcję poszycia połączoną przy pomocy nitów lub wkrętów. Wiele elementów konstrukcji nośnej jest ruchoma lub quasi-ruchoma. Zwiększa to poziom rezystancji w tych miejscach i powoduje jej niestabilność. Niekiedy powoduje to zmodulowania napięcia podawanego na zaciski odbiorników co czasami skutkuje ich niestabilną pracą. Innym problemem są sposoby podłączania zacisków minusowych¹ odbiorników lub źródeł energii elektrycznej do kadłuba statku powietrznego. Stopy aluminium stosowane powszechnie na konstrukcję płatowca SP mają naturalną skłonność do tworzenia pasywnej warstwy tlenków zwiększających znacznie rezystancję połączenia z miedzianymi przewodami minusowymi. Jednocześnie przyłączenie miedzianych oczek minusowych do aluminiowego kadłuba to znaczna różnica potencjałów elektrochemicznych. Powoduje to w warunkach podwyższonej wilgotności i odczynów alkalicznych (np. kwas węglowy zawarty w wodzie deszczowej), zjawiska korozji elektrolitycznej podczas postoju [8-9, 14]. Znane są przypadki znacznego zwiększania rezystancji połączeń niekiedy nawet takie zmiany korozyjne widoczne są okiem nieuzbrojonym. W strukturze materiałowej Su-22 zastosowano znaczną różnorodność materiałów – stopy magnezu, stal wysokowęglową, tantal, stal kwasoodporną. Różnorodne są również pokrycia powierzchniowe elementów: cynkowanie, chromowanie, srebrzenie, cynowanie. Połączenia pomiędzy elementami wykonanymi z różnych materiałów powinny być systematycznie monitorowane – dla Su-22 ITWL wykonuje takie pomiary systematycznie w czasie prac remontowych [5-6, 10-11], gdyż pozanormalny wzrost rezystancji połączenia skutkuje:

- a) dużymi stratami energetycznymi (przeciążanie prądnic, zmniejszenie poziomu napięcia na wejściu odbiornika),
- b) pojawianiem się obszarów o zwiększonej temperaturze, co pociąga za sobą przyspieszenie zjawisk korozyjnych i starzeniowych, niebezpieczeństwo pożaru zwłaszcza w rejonach w pobliżu silnika lub instalacji paliwowej,
- c) możliwością wyparowania lutowni i rozerwania połączenia elektrycznego [12].

¹ Zaciski minusowe dla obwodów prądu stałego; dla obwodów prądu przemiennego zaciski neutralne.

Podsumowując przejście w lotnictwie z sieci dwuprzewodowej na jedno-przewodową zmniejszyło znacznie ciężar instalacji elektrycznej i koszty jej montażu, lecz powodowało liczne kłopoty związane z utrzymaniem stabilnej i niskiej wartości rezystancji obwodu powrotnego realizowanego przez kadłub statku powietrznego [9]. Powstała więc potrzeba monitorowania zjawisk korozyjnych w kadłubie statku powietrznego.

3. Pomiary rezystancji kadłuba statku powietrznego

Zgodnie z [24] „(...) zaciski minusowe i neutralne elementów układu elektrycznego (zarówno źródła jak i odbiornika) powinny być połączone z wspólną masą wojskowego statku powietrznego. Jednocześnie wszystkie metalowe części konstrukcji metalowej (zarówno na powierzchni zewnętrznej, jak i wewnątrz statku powietrznego) o powierzchni $S \geq 0,01 \text{ m}^2$ lub długości $L \geq 0,25 \text{ m}$, powinny być połączone w celu utworzenia systemu metalizacji o niskiej i niezmiennej rezystancji. Połączenia te, zgodnie z przepisami normatywnymi [15, 22-23, 26] powinny być systematycznie kontrolowane. Powinno się dokonywać pomiarów rezystancji styków poszczególnych połączeń, jak i rezystancji całego obwodu powrotnego. Do pomiarów zaleca się stosowanie mostków wysokoprądowych lub metodę techniczną, tj. metoda woltomierza i amperomierza. ITWL preferuje metodę techniczną, ponieważ zapewnia ona znaczną uniwersalność i możliwość dostosowania parametrów pomiarowych do badanych obiektów. Pomiary zaleca się wykonywać przy prądzie probierczym nie niższym niż $I_p \geq 10 \text{ A}$ [27-28]. W tym miejscu rodzi się pytanie – po co do pomiarów rezystancji stosować tak znaczne natężenia prądu? Odpowiedź tkwi w poziomie wartości rezystancji styków poszczególnych połączeń oraz w ich strukturze. Zgodnie z [7, 22-23] rezystancja pojedynczego połączenia mechanicznego nieruchomego (nitowanego, śrubowego itp.) wynosi $R \leq 600 \mu\Omega$, zaś ruchomego² (połączenia elastycznego łącznika metalizacji z kadłubem lub obudową) $2000 \mu\Omega$. W związku z tym spadek napięcia nawet przy prądzie probierczym 10 A , jest rzędu pojedynczych mV , a więc na poziomie progu czułości woltomierzy stosowanych w połowych warunkach pomiarowych.

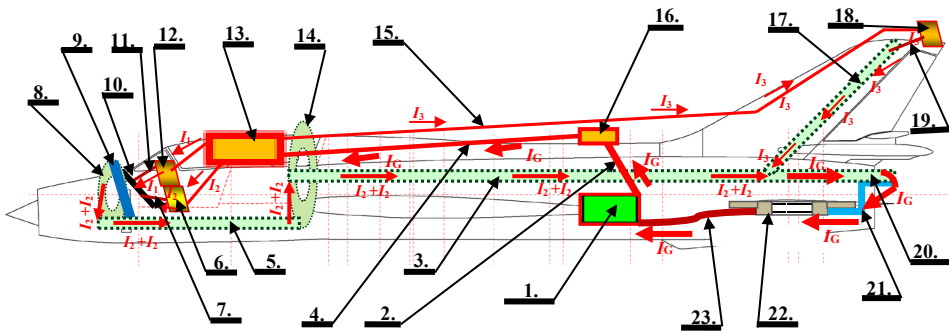
² Połączenie ruchome tj. w postaci elastycznych linek metalizacji, woło stosować tylko w ostateczności – w przypadku niemożliwości stosowania połączenia nitowanego, śrubowego lub spawanego. W zasadzie linki metalizacji wolno stosować tylko do funkcjonalnie ruchomych elementów płatowca jak płyty nośne, lotki, statecznik poziomy, osłony, trapy. Zabrania się stosowania elastycznych linek metalizacji do zmniejszenia rezystancji skorodowanego połączenia nitowanego.

4. Struktura obwodów powrotnych samolotu Su-22

Uproszczony obwód zasilania odbiorników na samolocie Su-22 z uwzględnieniem obwodu powrotnego przedstawiono na rys. 1. Dla uproszczenia przedstawiono tylko jedno źródło prądu elektrycznego prądnicę prądu stałego (rys. 1, element 6), trzy odbiorniki prądu stałego jedną tablicę minusową, dwie wręgi i trzy dźwigary konstrukcji samolotu. Już na tak uproszczonym przykładzie można stwierdzić jak skomplikowany jest rozplływ przestrzenny poszczególnych obwodów zasilania odbiorników energii elektrycznej. Każde połączenie elementu konstrukcyjnego samolotu z drugim elementem konstrukcyjnym oraz przewodu elektrycznego minusowego (prądnicy albo odbiornika) wnosi w układ zasilania różne co do wartości i stabilności wartości rezystancji połączenia. Dlatego w ITWL opracowano metodyki pomiarów tych rezystancji [7-9, 12, 16]. Od stabilności i niskiej wartości rezystancji poszczególnych obwodów w tym połączeń elementów kadłuba i kabli minusowych zależeć będzie bowiem:

- a) poziom zakłóceń urządzeń radiowych na skutek elektryczności statycznej,
- b) poprawność działania poszczególnych urządzeń – znane są przypadki takiego wzrostu przyłączenia przewodu minusowego do tabliczki minusowej, że odbiornik energii elektrycznej funkcjonował ze zmniejszoną mocą lub w ogóle nie wchodził do pracy,
- c) poziom odporności na uderzenia pioruna [1, 13] – znane są przypadki, kiedy na skutek uderzenia wyładowania atmosferycznego, energia elektryczna wywoływała prądy błądzące [1, 25], wnikające do sieci elektroenergetycznej samolotu i powodujące jego awarię; dlatego też liczne przepisy normatywne obligują Użytkowników do wykonywania odpowiednich zaleceń profilaktycznych w tym monitorowania stanu technicznego połączeń metalizacyjnych [2-4, 16, 18-20, 22-24],
- d) szybkość i skuteczność zadziałania zabezpieczeń nadprądowych [17, 24] w przypadku zwarcia danego obwodu elektrycznego np. na skutek przestrzelenia, urwania mechanicznego lub przetarcia izolacji przewodu elektrycznego.

Z rys. 1 można wywnioskować, że w strukturze obwodu zasilania elektroenergetycznego samolotu Su-22 występuje wiele styków w obwodzie elektrycznym. Rezystancja tych styków ma istotny wpływ na napięcie zasilania poszczególnych odbiorników – im większa jest sumaryczna rezystancja styków pomiędzy płatami poszycia (na drodze prądu powrotnego), rezystancja przyłączeń kabli minusowych do kadłuba statku powietrznego tym niższe napięcie na odbiorniku energii elektrycznej.



Rys. 1. Obwód zasilania elektroenergetycznego samolotu Su-22 – schemat poglądowy:

1. – prądnica prądu stałego GS-12T nr 2 („lewa”), 2. – tandem kablowy dodatni prądnicy prądu stałego GS-12T nr 2 („lewej”), 3. – dźwigar nr 1, 4. wiązka elektryczna kabli siłowych obwodu prądnicy prądu stałego GS-12T nr 2 („lewej”), 5. – dźwigar nr 2, 6. – odbiornik energii elektrycznej nr 2, 7. – przewód elektryczny minusowy odbiornika energii elektrycznej nr 2, 8. – wręga nr 1, 9. – przednia płyta pancerna kabiny pilota, 10. – tabliczka minusowa nr 1, 11. – przewód elektryczny minusowy odbiornika energii elektrycznej nr 1, 12. – odbiornik energii elektrycznej nr 1, 13. – tablica rozdzielcza CRK-1 nr 1 energii elektrycznej prądnicy prądu stałego GS-12T nr 2 („lewej”), 14. – wręga nr 2, 15. – przewód elektryczny (dodatni) obwodu zasilania tylnej lampki gabarytowej CHS-39, 16. – tablica rozdzielcza CRK-1 nr 1 energii elektrycznej prądnicy prądu stałego GS-12T nr 2 („lewej”), 17. – dźwigar nr 3, 18. – odbiornik elektryczny nr 3 (tylna lampka gabarytowa), 19. – przewód elektryczny minusowy obwodu zasilania tylnej lampki gabarytowej CHS-39, 20. – dźwigar nr 4, 21. – szyna przewodząca łącząca bocznik prądnicy GS-12T nr 2 („lewej”) z dźwigarem nr 1, 22. – bocznik typ Sz-2 obwodu prądnicy GS-12T nr 2 („lewej”), 23. – tandem kablowy minusowy prądnicy prądu stałego GS-12T nr 2 („lewej”)

5. Tabliczki minusowe i ich rola w strukturze przesyłu energii elektrycznej statku powietrznego

W rozbudowanych strukturach elektroenergetycznych statków powietrznych często tworzy się dla odbiorników małej i średniej mocy w różnych rejonach płatowca tzw. tabliczki minusowe. Ich lokalizacja jest określana w instrukcjach opisowych, zaś w instrukcjach eksploatacji oraz w technologiach remontu są określone procedury kontroli i regeneracji ich stanu technicznego. Tabliczka minusowa to nic innego jak kawałek blachy duraluminiowej przykręcony lub przynitowany do konstrukcji nośnej statku powietrznego. Do tej blachy przykręcone są liczne przewody minusowe pobliskich odbiorników energii elektrycznej. Konstruktorzy starają się grupować przewody minusowe odbiorników energii elektrycznej o podobnych właściwościach elektroenergetycznych na oddzielnych tabliczkach minusowych: osobno przewody

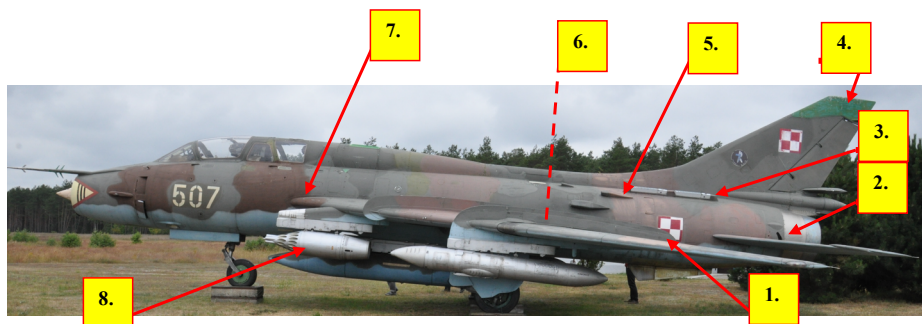
przenoszące moc impulsowo osobno obwody o łagodnych charakterystykach dynamiki zmian natężenia prądu. Do osobnych tabliczek przyłącza się przewody minusowe analogowe, do osobnych obwody cyfrowe. Konstruktorzy starają się także grupować na danej tabliczce minusowej przewody minusowe odbiorników o podobnej mocy. Wszystko to zmniejsza poziom zakłóceń wzajemnych pracy odbiorników energii elektrycznej.

6. Charakterystyka instalacji elektroenergetycznej samolotu Su-22

6.1. Opis ogólny Su-22

Naddźwiękowy samolot Su-22 (rys. 2) jest myśliwcem bombardującym z silnikiem turbodrzutowym AŁ-21F. Samolot charakteryzuje się dobrymi własnościami lotno-taktycznymi w szczególności na niskich i średnich wysokościach, bogatym uzbrojeniem bombardierskim raketowym i strzeleckim [2, 4]. Ma dobre i skuteczne (wypróbowane w walce) opancerzenie kabiny: płyty pancerne ze wszystkich stron (rys. 3, element 14) zaś owiewkę ze szkła pancernego. Skrzydło samolotu o zmiennej geometrii umożliwia płynne zmiany kąta skosu skrzydła od 63° do 30° . Dzięki temu powierzchnia czynna zwiększa się z $34,5 \text{ m}^2$ do $38,5 \text{ m}^2$. Po rozwinięciu skrzydeł zwiększa się znacznie powierzchnia nośna, dzięki czemu w czasie atakowania celów naziemnych samolot może znacznie zmniejszyć prędkość lotu co zwiększa precyzję trafienia obiektów naziemnych zwłaszcza obiektów szybko przemieszczających się. Znaczna powierzchnia klap aerodynamicznych umożliwia atakowanie celów z lotu nurkowego, co zwiększa element zaskoczenia przeciwnika i zwiększa celność. Dzięki zastosowaniu slotów (tzw. klap przednich) samolot może wznosić się przy zwiększonych kątach natarcia bez obawy przeciągnięcia. Umożliwia to szybkie opuszczanie zbombardowanego miejsca oraz omijanie wysokich przeszkód terenowych podczas lotu na niskich wysokościach.

Dzięki opancerzeniu kabiny pilota, zmiennej geometrii skrzydła i zastosowaniu wolnoobrotowego silnika i znacznego udźwigu (4 tony podwieszeń praktycznie biorąc bez obniżenia właściwości aerodynamicznych), samolot może skutecznie wspierać działania wojsk naziemnych i jest trudny do zestrzelenia przez naziemne środki obrony przeciwlotniczej.



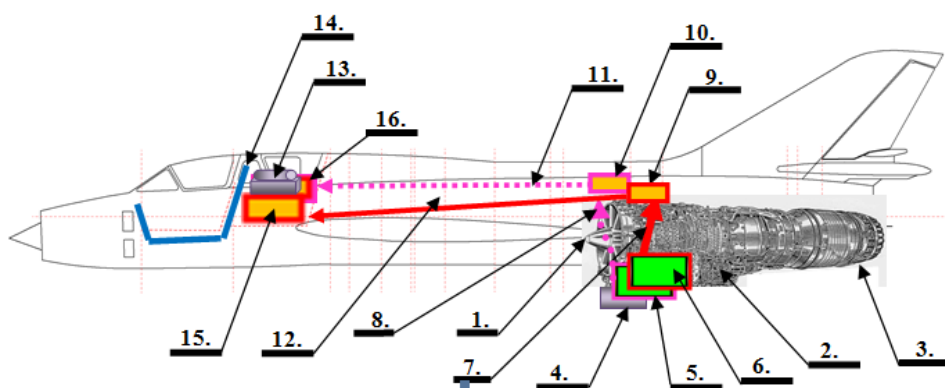
Rys. 2. Widok ogólny samolotu Su-22 – wersja szkolno-treningowa: 1. – prądnica prądu stałego GS-12T nr 2 („lewa”), 2. – dysza wylotowa silnika turbodrzutowego, 3. – zamek elektromagnetyczny zrzutu spadochronu hamującego, 4. – tylna lampka gabarytowa, 5. – tablica rozdzielcza CRK-1 nr 1 energii elektrycznej prądnicy prądu stałego GS-12T nr 2 („lewej”), 6. – rejon przedniej podpory łożyskowej silnika turbodrzutowego, 7. – tablica rozdzielcza odbiorników nr 1 (lewa), 8. – zasobnik niekierowanych pocisków raketowych MARS

6.2. Budowa sieci elektroenergetycznej Su-22

Podstawowe zasilanie elektryczne samolotu jest oparte na prądzie stałym. Był on łatwiejszy w sterowaniu (w czasie konstruowania i wdrażania Su-22 do służby) niż prąd przemienny, który w momencie powstawania konstrukcji Su-22 dopiero wchodził na pokłady statków powietrznych. Do zasilania prądem stałym w tym czasie były dostosowane prawie wszystkie rodzaje odbiorników energii elektrycznej przede wszystkim elektomechanizmy wykonawcze. Ich niezawodność działania również była istotna dla potęgowania skuteczności samolotu na polu walki. Zadania wsparcia wojsk naziemnych na niskich wysokościach spowodowały specyficzny rozkład geometryczny układu elektroenergetycznego tego samolotu:

- a) do skrzynki napędów są przymocowane dwie prądnice prądu stałego każda o mocy 12 kW (rys.3, elementy: 5 i 6), co zwiększa niezawodność działania systemu; ich masywne korpusy są odporne na uszkodzenia z broni małokalibrowej,
- b) przewody (obwód „+”) są najkrótszą drogą poprowadzone do góry do elektrycznych tablic rozdzielczych źródeł energii elektrycznej CRK-1 i CRK-2 (rys. 3, elementy: 9 i 10), chronionych przed ostrzałem przez masę silnika oraz konstrukcją tylnej części kadłuba; aby zwiększyć niezawodność systemu w środowisku oddziaływania broni strzeleckiej przeciwnika, każda z prądnic ma kable poprowadzone po innej burcie: „lewa” prądnica popod poszyciem lewej burty, prawa prądnica pod prawą burtą (rys. 3, elementy: 7 i 8),

- c) od tablic rozdzielczych źródeł energii elektrycznej CRK-1 i CRK-2 (rys. 3, elementy: 9 i 10) kable elektryczne (rys. 3, elementy: 11 i 12) poprowadzone są w nad górną częścią kadłuba w tzw. grzebieniu i doprowadzają energię elektryczną do tablic rozdzielczych odbiorników (rys. 3, elementy: 15 i 16) umieszczonych tuż za tylną płytą pancerną kabiny pilota (rys. 3, element 14),
- d) nad tablicami rozdzielczymi odbiorników są zamontowane dwie przetwornice elektromaszynowe PTO-1000/1500 (rys. 3, element 13) przetwarzające energię elektryczną prądu stałego o napięciu 28 V na energię elektryczną prądu przemiennego o napięciu 115 V i stabilizowanej częstotliwości 115 V \pm 10%.

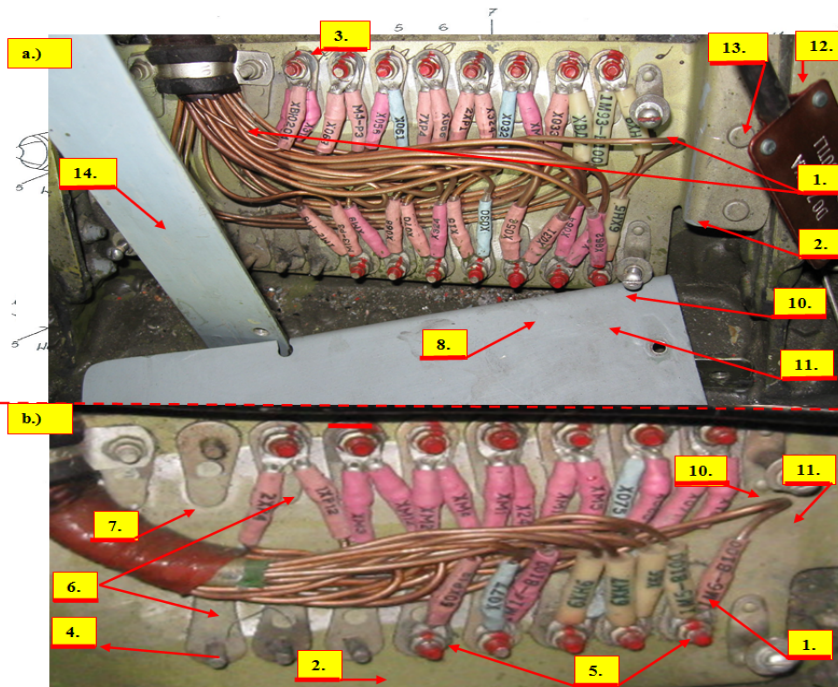


Rys. 3. Rozmieszczenie podstawowych podzespołów sieci elektroenergetycznej samolotu Su-22:

1. – kołpak aerodynamiczny przedniej podpory łożyskowej silnika turbodrzutowego, 2. – skrzynka napędów agregatów silnika turbodrzutowego, 3. – dysza silnika turbodrzutowego, 4. – prądnica prądu przemiennego SG-8FM, 5. – prądnica prądu stałego GS-12T nr 1 („prawa”), 6. – prądnica prądu stałego GS-12T nr 2 („lewa”), 7. – tandem kablowy dodatni prądnicy prądu stałego GS-12T nr 1 („prawej”), 8. – tandem kablowy dodatni prądnicy prądu stałego GS-12T nr 2 („lewej”), 9. – tablica rozdzielcza CRK-1 nr 1 energii elektrycznej prądnicy prądu stałego GS-12T nr 2 („lewej”), 10. – tablica rozdzielcza CRK-1 nr 2 energii elektrycznej prądnicy prądu stałego GS-12T nr 1 („prawej”), 11. – wiązka elektryczna kabli siłowych (dodatnich) obwodu prądnicy prądu stałego GS-12T nr 1 („prawej”), 12. – wiązka elektryczna kabli siłowych obwodu prądnicy prądu stałego GS-12T nr 2 („lewej”), 13. – przetwornica elektromaszynowa PTO-1000/1500, 14a. – przednia płyta pancerna kabiny pilota, 14. – tylna płyta pancerna kabiny pilota, 15. – tablica rozdzielcza odbiorników nr 1 (lewa), 16. – tablica rozdzielcza odbiorników nr 2 (prawa)

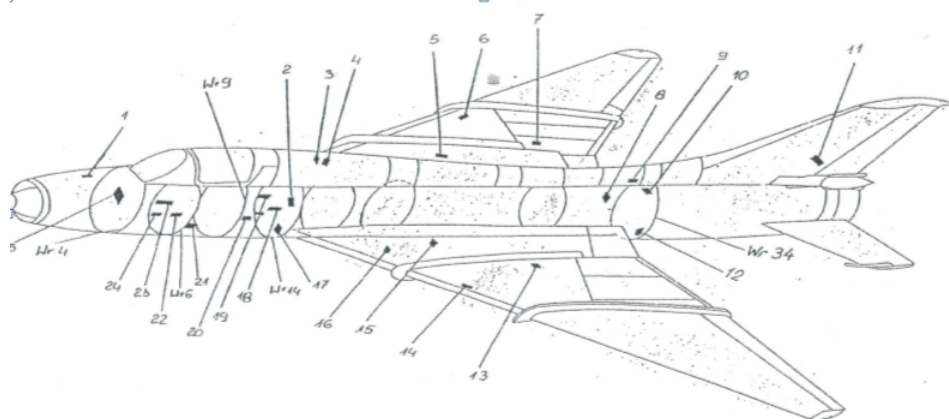
7. Tabliczki minusowe i ich rola w strukturze przesyłu energii elektrycznej Su-22

W eksploatacji Su-22 w miarę postępowania procesu starzeniowego często spotykane są awarie odbiorników energii elektrycznych małych i średnich mocy. Zmusiło to ITWL do opracowania procedur sprawdzania poprawności rezystancji styków kabli minusowych na tabliczkach minusowych w czasie przedłużania resursów [6, 10] – rys. 4.



Rys. 4. Tabliczka minusowa nr 2 z kabiny samolotu Su-22: a) po zdjęciu pokrywy, b) zbliżenie:

1. – elektryczny przewód minusowy, 2. – płytka elektrycznie czynna tabliczki minusowej, 3. – końcówka oczkowa elektrycznego przewodu minusowego, 4. – śruba (stalowa), 5. – nakrętka (stalowa) mocująca oczko (miedź) elektrycznego przewodu minusowego do podstawy stykowej zacisku (odkuwka aluminiowa), 6. – podstawa przewodząca zacisku elektrycznego (odkuwka aluminiowa), 7. – nit (alumiiniowy) łączący podstawę stykową zacisku z płytą elektrycznie czynną tabliczki minusowej, 8. – płytka osłonowa tabliczki minusowej, 9. – nakrętka mocująca płytę osłony, 10. – tuleja dystansowa, 11. – śruba montażowa (stalowa) mocująca płytę elektrycznie czynną tabliczki minusowej do wręgi samolotu 12. – wręga samolotu (do której jest przynitowana tabliczka minusowa), 13. – nit (alumiiniowy) łączący płytę elektrycznie czynną tabliczki minusowej z wręgą samolotu, 14. – wspornik poszycia wnętrza kabiny



Rys. 5. Schemat rozmieszczenia tabliczek minusowych samolotu S-54K:

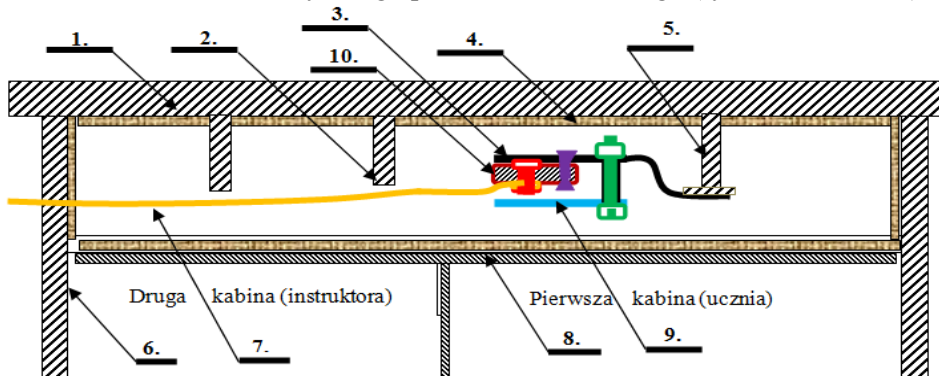
1. – tabliczka minusowa (TM) nr 12 – przedział techniczny przed przednią owiewką (wręga 1q÷1g), 2. – TM nr 19 – lewa strona kadłuba, dół (wr. 13), 3. – TM nr 27 – górna część kadłuba, część grzebieniowa przed rękawem ładowania taśm amunicyjnych, 4. – TM nr 28 – grzebieniowa część kadłuba (wierzchołek wr. 14), dwie wręgi przed rękawem ładowania taśm amunicyjnych, 5. – TM nr 66 – nieruchoma część prawego skrzydła belka podłużna przy prawym dziątku, 6. – TM nr 69 – nieruchoma część prawego skrzydła, przewody elektryczne przykręcone bezpośrednio do żebra nr 10 (bez tabliczki minusowej), 7. – TM nr 68 – nieruchoma część prawego skrzydła, oś przegrody 1, w rejonie agregatu hydraulicznego mechanizmu śrubowego przemieszczania kątownego ruchomej części skrzydła, 8. – TM nr 43 – (wr. 43), kadłub, prawa strona, przedział silnikowy, 9. – TM nr 35 – przedział grzbietowy w osi symetrii, przed statecznikiem pionowym za wymiennikiem ciepła tj. chłodnicą paliwowo-powietrzną (wr. 35), 10. – TM nr 44 – Lewa strona kadłuba (wr. 32) uchwyt nadmuchu powietrza (niezidentyfikowana), 11. – TM nr 51 – statecznik pionowy, lewa strona obok rejestratora parametrów lotu (wr. 32÷35), 12. – TM nr 45 – prawa strona kadłuba, w pobliżu płaszczyzny rozstykowania kadłuba, nad przedział techniczny prawej prądnicy GS-12T (wr. 32÷33), 13. – TM nr 58 – nieruchoma część lewego skrzydła w rejonie pompy elektrohydraulicznej NS-3, 14. – TM nr 60 – ruchoma część skrzydła, lewa strona, wr. 10a-10 (niezidentyfikowana), 15. – TM nr 56 – nieruchoma część lewego skrzydła, obok dziąłka, 16. – TM nr 16 – lewa strona za kabiną, przedział przetwornic PTO-1000/1500 (wr. 11k÷11), 17. – TM nr 19 – lewa strona kadłuba, dół (wr. 14), 18. – TM nr 18 – prawa strona kadłuba, przedział przetwornic PTO-1000/1500 (wr. 11÷11k), 19. – TM nr 19 – lewa strona kadłuba, dół (wr. 14), 20. – TM nr 16 – lewa strona za kabiną, przedział przetwornic PTO-1000/1500 (wr. 11k÷11), 21. – TM nr 2 – kabina pilota, lewa strona (wr. 6b÷7a) na wysokości miski fotela pilota, 22. – TM nr 13 – wnęka przedniej nogi, prawa strona, 23. – TM nr 3 – kabina pilota, prawa strona przy podłodze (wr. 7a÷6b), 24. – TM nr 11 – wnęka przedniej nogi, prawa strona (wr. 6b÷7), 25. – TM nr 1 – kabina pilota, za tablicą przyrządów pod przednią owiewką (wr. 4) TM nr 12 – przedział techniczny przed przednią owiewką kabiny pilota (wr. 1q÷1g)

Lokalizację i rozmieszczenie tabliczek minusowych (w skrócie TM) samolotu Su-22 przedstawiono na rys. 5. Dzięki zgrupowaniu przewodów minusowych na tabliczkach minusowych łatwiejsza jest konserwacja połączeń oraz wykonywanie pomiarów. Zgodnie z zasadą „uelastyczniania” konstrukcji mechanicznej przyjętej

z konstrukcji nakładkowej poszycia statków powietrznych, przy montażu tabliczek minusowych w procesie montażu płatowca, stosuje się dodatkowe połączenia nitowane w celu zmniejszenia naprężeń mechanicznych. Do tak skonstruowanych tabliczek przynitowuje się dopiero podstawki montażowe przewodów minusowych – rys. 11, element 10. Zwiększenie populacji efektów korozji zaobserwowano dla samolotów Su-22 po długim okresie postoju. Jednocześnie stwierdzono wzrost populacji pozanormalnych wartości rezystancji połączeń dla tabliczek minusowych zamontowanych w miejscach o niskiej wentylacji jak np. tabliczka TM nr 28 (rys. 5, element 4) lub tabliczka TM nr 2 (rys. 5, element 21). Przypadki skorodowania tej ostatniej TM pojawiają się praktycznie w czasie wszystkich sprawdzeń, ale tylko na samolotach bojowych. Prawdopodobnie dla Su-22 w wersji szkolnej wydłużona przestrzeń w lewej burcie (ciągnąca się wzdłuż obu kabin, tj. pilota i ucznia) zapewnia wystarczającą przestrzeń do naturalnej wentylacji tabliczki minusowej TM nr 2.

Do nich z kolei przykręcane są elektryczne przewody minusowe (rys. 11, element 7). Podczas badań w ITWL struktury metalizacji samolotu Su-22 wykonanych metodami elektrycznymi [9, 14] stwierdzono wiele przypadków efektów korozji:

- plytki elektrycznie czynnej tabliczki minusowej (rys. 11, element 3) z konstrukcją płatowca (rys. 1, element 1),
- podstawy przewodzącej zacisku elektrycznego (rys. 11, element 10) z płytką elektrycznie czynną tabliczki minusowej (rys. 11, element 3),
- podstawy przewodzącej zacisku elektrycznego (rys. 11, element 10) z końcówką oczkową elektrycznego przewodu minusowego (rys. 11, element 7).



Rys. 6. Tabliczka minusowa nr 3 samolotu Su-22UM – widok ogólny: 1. – korpus zewnętrzny statku powietrznego (tu – płyta pancerna ze stopu aluminium), 2. – wręga, 3. – tabliczka minusowa, 4. – izolacja cieplna (tkanina z włókna szklanego), 5. – wręga do której jest przynitowana tabliczka minusowa, 6. – ścianka działowa, 7. – elektryczny przewód minusowy, 8. – ścianka wewnętrzna kabiny pilota, 9. – płytka osłonowa tabliczki minusowej, 10. – podstawa przewodząca zacisku (alumiiniowa)

8. Podsumowanie i wnioski

1. Dla Su-22 pomiaram rezystancji powinny podlegać kompletne obwody prądowe od minusa źródła do minusa odbiornika niezależnie od tego przez jaki rodzaj elementów konstrukcyjnych ten obwód przechodzi.
2. Miejsca przyłączeń minusowych do tabliczek minusowych oraz do konstrukcji płatowca powinny być otoczone szczególną opieką:
 - powinny być czyszczone z korozji oraz zabezpieczane przed korozją poprzez nakładanie na nie farb, a także innych odpowiednich środków chemicznych,
 - powinny być stosowane systematyczne pomiary wartości rezystancji.
3. Podczas analizy niepoprawnego działania lub niezadziałania odbiornika energii elektrycznej powinny być brane pod uwagę skorodowanie miejsca przyłączenia przewodu minusowego do tabliczki minusowej oraz skorodowanie tabliczki minusowej do konstrukcji statku powietrznego, a także skorodowanie połączenia elementów kadłuba statku powietrznego na odcinku pomiędzy danym odbiornikiem energii elektrycznej a źródłem.
4. Przedziały techniczne zawierające tabliczki minusowe powinny być suszone w sposób naturalny (otwieranie wzierników przy niskiej wilgotności powietrza) lub wymuszony (strumieniem sprężonego powietrza albo poprzez utworzenie szczelin wentylacyjnych).

9. Literatura

1. Biuletyn nr 5677 Oddziaływanie elektryczności atmosferycznej na samolot i zabezpieczenie statków latających przed wyładowaniami atmosferycznymi, zalecenia metodyczne.
2. Dowództwo Wojsk Lotniczych Samolot 22M4. Książka 1. Charakterystyki lotno-techniczne, Poznań 1990, sygn. Lot. 2674/87.
3. Dowództwo Wojsk Lotniczych Samolot 52UM3K. Książka 3. Płatowiec. Część I. Opis Techniczny, Poznań 1988, sygn. Lot. 2537/86.
4. Dowództwo Wojsk Lotniczych: Samolot 54K. Książka 3. Płatowiec. Część I. Opis Techniczny i działanie. Wydanie tymczasowe, Poznań 1985, sygn. Lot. 2343/84.
5. Gębura A., Radoń T.: Metodyka Nr MB-13/43/2005 Sprawdzenie struktury obwodów elektrycznych spadochronu hamującego samolotu S-52UM3K - Badania naziemne [w:] Leśniczak A., Dragan K., Mach A. [i in.] Zestawienie metody używanych w celu przedłużenia resursu technicznego samolotów S-52UM3K zgodnie z biuletem eksploatacyjnym nr P/O/R/U/5485/E/2013, 31-4781-1, opracowanie wewnętrzne ITWL, Warszawa 2013.

6. Gębura A., Radoń T.: Metodyka Nr MB-5/43/2005 Pomiary rezystancji metalizacji i rezystancji poszycia wybranych elementów i połączeń instalacji elektrycznej samolotu S-52UM3K - Badania naziemne [w:] Leśniczak A., Dragan K., Mach A. [i in.] Zestawienie metody używanych w celu przedłużenia resursu technicznego samolotów S-52UM3K zgodnie z biuletynem eksploatacyjnym nr P/O/R/U/5485/E/2013, 31-4781-1, opracowanie wewnętrzne ITWL, Warszawa 2013.
7. Gębura A., Radoń T.: Metodyka Nr MB-5/43/2005 Pomiary rezystancji metalizacji i rezystancji poszycia wybranych elementów i połączeń instalacji elektrycznej samolotu S-52UM3K - Badania naziemne [w:] Leśniczak A., Dragan K., Mach A. [i in.] Zestawienie metody używanych w celu przedłużenia resursu technicznego samolotów S-52UM3K zgodnie z biuletynem eksploatacyjnym nr P/O/R/U/5485/E/2013, 31-4781-1, opracowanie wewnętrzne ITWL, Warszawa 2013.
8. Gębura A., Radoń T.: Sprawozdanie z działalności statutowej. Badania rezystancji metalizacji samolotu MiG-29. Warszawa 2000, niepublikowane.
9. Gębura A., Radoń T.: Struktura rezystancji metalizacji płatowca – sposoby diagnozowania. [w:] red. prof. J. Lewitowicz, L. Cwojdzinski, M. Kowalski, R. Szczepanik „Problemy badań i eksploatacji Techniki Lotniczej t. 8”; Wydawnictwo ITWL, Warszawa 2012.
10. Gębura A., Tokarski T.: Metodyka nr MB-54/43/2014 Pomiary na obwodach elektrycznych instalacji elektroenergetycznej, systemu paliwowego oraz poszycia i połączeń minusowych – Badania naziemne, opracowanie wewnętrzne ITWL, Warszawa 2015.
11. Gębura A., Tokarski T.: Metodyka nr MB-56/43/2014 Sprawdzenie tandemów kablowych prądnic prądu stałego – Badania naziemne, opracowanie wewnętrzne ITWL, Warszawa 2015.
12. Gębura A., Tokarski T.: Sprawozdanie z pracy na temat: „Ocena zasobu pracy przewodów elektrycznych sieci pokładowych statków powietrznych”, niepublikowane, dostępne w bibliotece ITWL (nr BT ITWL 412/50), 0-2102-31-1-00, Warszawa 2001.
13. Gębura A.: Oddziaływanie pioruna na statki latające – powstawanie i przeciwdziałanie. Informator ITWL nr 73/90.
14. Gębura, A., Mach-Cygankiewicz, A.: Monitorowanie rezystancji kadłuba wojskowego statku powietrznego. Prace Naukowe Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, 2016, nr 39. DOI 10.1515/afit-2016-0021.
15. Jachimowicz J., Kajka R., Kaniowski J., Karliński W.: Fretting w konstrukcjach lotniczych, Tribologia, rok 36, SIMPRESS Oficyna Wydawnicza SIMP, 2005.
16. Lewitowicz J.: Badania eksploatacyjne statków powietrznych t. 4 – Badania eksploatacyjne statków powietrznych, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2007.
17. Przedział techniczny I. I., Liubimov W. W.: Sistiemy eliektrosnabzienija samolietov i wiertolietov, Izdatielstvo „Transport”, Moskwa 1970.

18. MIL-B-5087B(ASG) Bonding, electrical and lighting protection for aerospace systems.
19. MIL-STD-1757A Lightning qualification test techniques for aerospace vehicles and hardware.
20. MIL-STD-1795A „Lightning protection of aerospace Vehicles and hardware” (Ochrona odgromowa statków powietrznych i oprzyrządowania).
21. Napurka M., Gębura A., Radoń T., Tokarski T., Kobyłański A.: Protokół Nr MB-31/43/2004 badań samoczynnego wypuszczania spadochronu hamującego w czasie lotu samolotu Su-22 nr 28816, 0-2530-36-1-00, opracowanie wewnętrzne ITWL (nr BT ITWL 1614/50), Warszawa 2004
22. NO-16-A002:2006 Wojskowe statki powietrzne – Ochrona przed skutkami wyładowań atmosferycznych – Wymagania ogólne
23. Norma Obronna NO-06-A104:2005 Uzbrojenie i sprzęt wojskowy. Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań. Wymagania konstrukcyjne.
24. Norma Obronna NO-15-A200:2007 Wojskowe statki powietrzne. Pokładowe układy zasilania elektrycznego. Podstawowe parametry, wymagania i badania.
25. pl.wikipedia.org/wiki/Węzeł_sieci_elektroenergetycznej dn. 09.12.2014 r.
26. PN-EN 2591-218:2007 Lotnictwo i kosmonautyka. Elementy złączy elektrycznych i optycznych. Metody badań. Część 218: starzenie końcówek oczkowych i łączników zagniatanych pod wpływem cyklicznych zmian temperatury i prądu.
27. Wspólne Przepisy Lotnicze JAR-23 Samoloty kategorii normalnej, użytkowej, akrobacyjnej i transportu lokalnego, 11 marca 1994 r.
28. Wspólne Przepisy Lotnicze JAR-29 Wiropląty duże. 5 listopad 1993 r.

