

Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej



na kierunku Lotnictwo i kosmonautyka

w specjalności Automatyka i systemy lotnicze

Urządzenie mikroprocesorowe do komunikacji w protokole ARINC 825 oraz aplikacja desktopowa ...

Julia Czarnowska

Numer albumu 259698

promotor

mgr inż. Sebastian Topczewski

inż. Michał Pachocki

Warszawa, 2017

**Streszczenie**

***Streszczenie pracy, wybrać odpowiednio:***

1. **jeżeli praca dyplomowa jest napisania w języku polskim to:**

- ***strona 2*** - OBOWIĄZKOWO - streszczenie pracy w języku polskim, zawierające tytuł pracy, zestaw słów kluczowych, (objętość 1 strona, odstęp pojedynczy, czcionka 12),

- ***strona 3*** - OBOWIĄZKOWO - streszczenie pracy w języku angielskim, zawierające tytuł pracy, zestaw słów kluczowych, (objętość 1 strona, odstęp pojedynczy, czcionka 12),

- ***strona 4*** - OPCJONALNIE - streszczenie pracy w języku obcym, zawierające tytuł pracy, zestaw słów kluczowych – jeśli student występuje o wydanie odpisu dyplomu w tłumaczeniu na język inny niż angielski (objętość 1 strona, odstęp pojedynczy, czcionka 12),

Czcionka – kroje bezszeryfowe (np. Arial, Verdena)

**Wyjaśnienie:**

słowa kluczowe – czego dotyczy praca, np.: samoloty wojskowe, historia bezzałogowych aparatów latających itp.

**Słowa kluczowe:** magistrale danych, awionika, ARINC

**Abstract**

**Key words:** data buses...

##### Oświadczenie autora (autorów) pracy

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że przedstawiona praca dyplomowa:

* została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami,
* nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem tytułu zawodowego lub stopnia naukowego w wyższej uczelni.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

........................................ .........................................

data podpis autora (autorów) pracy

**Oświadczenie** [1]

Wyrażam zgodę / nie wyrażam zgody\*1 na udostępnianie osobom zainteresowanym mojej pracy dyplomowej. Praca może być udostępniana w pomieszczeniach biblioteki wydziałowej. Zgoda na udostępnienie pracy dyplomowej nie oznacza wyrażenia zgody na jej kopiowanie w całości lub w części.

Brak zgody nie oznacza ograniczenia dostępu do pracy dyplomowej osób:

- reprezentujących władze Politechniki Warszawskiej,

- członków Komisji Akredytacyjnych,

- funkcjonariuszy służb państwowych i innych osób uprawnionych, na mocy odpowiednich przepisów prawnych obowiązujących na terenie Rzeczypospolitej Polskiej, do swobodnego dostępu do materiałów chronionych międzynarodowymi przepisami o prawach autorskich. Brak zgody nie wyklucza także kontroli tekstu pracy dyplomowej w systemie antyplagiatowym.

........................................ .........................................

data podpis autora (autorów) pracy

\*1 - niepotrzebne skreślić

**Spis treści**

[1. Wprowadzenie 6](#_Toc481621960)

[2. Przegląd standardów komunikacyjnych. 7](#_Toc481621961)

[**2.1.** **ARINC 429** 7](#_Toc481621962)

[**2.2.** **MIL-STD 1553** 7](#_Toc481621963)

[**2.3.** **ARINC 629** 8](#_Toc481621964)

[**2.4.** **ARINC 664** 9](#_Toc481621965)

[**2.5.** **ARINC 825** 10](#_Toc481621966)

[**2.5.1.** **CAN (Controller Area Network)** 10](#_Toc481621967)

[**2.5.2.** **Dodatkowe funkcjonalności ARINC 825** 11](#_Toc481621968)

[**2.5.3.** **Warstwa fizyczna** 11](#_Toc481621969)

[**2.5.4.** **Warstwa łącza danych** 11](#_Toc481621970)

[3. Projekt urządzenia 11](#_Toc481621971)

[**3.1.** **Opis** 11](#_Toc481621972)

[**3.2.** **Wymagania funkcjonalne** 12](#_Toc481621973)

[**3.3.** **Zewnętrzne interfejsy urządzenia** 12](#_Toc481621974)

[**3.4.** **Wymagania projektowe** 12](#_Toc481621975)

[4. Aplikacja desktopowa 12](#_Toc481621976)

[**4.1.** **Opis systemu** 12](#_Toc481621977)

[**4.2.** **Wymagania funkcjonalne** 12](#_Toc481621978)

[**4.3.** **Wymagania niefunkcjonalne** 12](#_Toc481621979)

[**4.4.** **Struktura aplikacji** 13](#_Toc481621980)

[5. Przypadki testowe 13](#_Toc481621981)

[Bibliografia: 14](#_Toc481621982)

1. Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich kilku dekad, dzięki gwałtownemu postępowi technologicznemu można było zaobserwować rozwój systemów awionicznych. Wynika z tego wzorst liczby urządzeń elektronicznych oraz złożoność systemów stosowanych na statkach powietrznych. Modernizacja systemów pokładowych wiąże się z ogromną ilością produkowanych przez nie danych. Wszystkie te informacje są niezbędne do stałego monitorowania parametrów lotu oraz kondycji technicznej samolotu. W czasie rzeczywistym muszą być one przekazywane pomiędzy systemami w celu ich przetworzenia oraz poddaniu analizie. Kluczowym zagadnieniem okazuje się być szybka oraz niezawodna międzysystemowa wymiana danych.

Pierwsze systemy awioniczne składały się z kilku urządzeń analogowych oraz dedykowanych połączeń między nimi. Każdy dodany sprzęt oznaczał nową linię komunikacyjną, a co się z tym wiąże kolejny przewód. Wraz z rozszerzaniem sie systemów, rozbudowywana infrastruktura kablowa stawała się coraz bardziej skomplikowana oraz niekorzystna ze względu na swoją masę. Z czasem, gdy pojawiła się możliwość szerszego zastosowania transmisji cyfrowej, rozpoczęto prace nad efektywniejszym sposobem komunikacji, nad lotniczymi, szeregowymi magistralami danych.

Magistrale składają się z wielu jednostek LRU (ang. Line Replacable Unit) oraz współdzielonego przez nie medium, najczęściej w postaci pary miedzianych przewodów. W celu uniknięcia kolizji oraz niepotrzebnego przetwarzania konkretnych wiadomości przez wszystkie LRU, właściwe dane opakowywane są w dodatkowe informacje, takie jak adres docelowy wiadomości, adres źródła, czy inne pozwalające na kontrolę błędów lub łatwiejszą identyfikację parametry. W ten sposób sformatowany sygnał nazywany jest ramką danych. Takie rozwiązanie znacznie upraszcza strukturę systemu oraz samą komunikację.

Ponadto stosunkowo niedawno pojawił się wsród technologii awionicznych koncept IMA (Integrated Modular Avionics). Taki rodziaj architektury pozwala na zintegrowanie wielu różnych sieci komunikacyjnych, często o odmiennych charakterystykach. Podsieci mimo różnych specyfikacji mogą wymieniać się danymi przy pomocy bramek (ang. Gateway). Sprawia to, że cały system staje się bardziej elastyczny i efektywny, ale może stanowić wyzwanie dla inżynierów, pracujących nad nowymi protokołami. Muszą oni projektować je sposób w pełni kompatybilny z tym konceptem.

Dzisiaj nowoczesne magistrale danych muszą oferować najwyższy poziom bezpieczeństwa, przewidywalne zachowanie oraz zapewniać rozwiązania redundantne. Konieczne są też wysoka odporność na zakłócenia, duże prędkości transmisji, możliwość łatwej integracji z pozostałymi standardami oraz elastyczna architektura. Nie istnieje jeden standard spełniający wszystkie te wymagania. Decyzja o wyborze najbardziej odpowiedniego zależy od jego zastosowania [The evolution of Avionics Networks, From ARINC 429 to ADFX]

1. **Przegląd standardów komunikacyjnych.**
   1. **ARINC 429**

ARINC 429 to jeden z najstarszych i zarazem najprostszy standard komunikacyjny stworzony na potrzeby przemysłu lotniczego. Jego specyfikacja „Digital Information Transfer System (DITS)” została po raz pierwszy opublikowana w roku 1977 i od tamtej pory stał się najczęściej stosowanym standardem do integracji statków powietrznych. Po dziś dzień można spotkać go w wielu popularnych konstrukcjach takich jak Airbus A320, czy Boeing 737.

W ARINC 429 transmisja odbywa się w jednym kierunku poprzez dwuprzewodową skrętkę. Sygnał zakodowany jest bipolarnym kodem RZ (ang. return to zero). Wynika z tego, że napięcie różnicowe pomiędzy dwoma przewodami skrętki może znajdować się na trzech poziomach HI, NULL oraz LOW. Kolejno przesyłane ramki oddzielone są czterema sygnałami NULL, dzięki temu nie jest konieczny osobny przewód dla sygnału zegarowego.

Prędkość transmisji (bit rate) wynosi odpowiednio 12.5 kbit/s w trybie low speed oraz 100 kbit/s w trybie high speed. Podstawową jednostką informacyjną jest 32-bitowe słowo. Składa sie ono z pięciu sekcji Parity, Sign/Status Matrix (SSM), Data, Source/Destination Identifier (SDI) oraz Label [1]. Bit parzystości (Parity) stanowi jedyną kontrolę błędów transmisji. Uogólniony format ramki ARINC 429 przedstawiony jest na Rysunku.



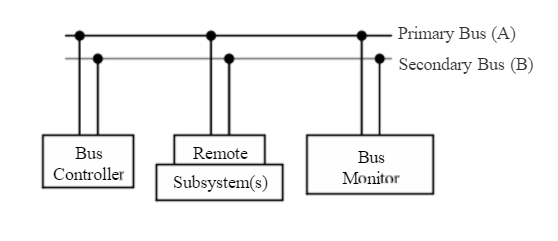
Rysunek 1 Uogólniony format ramki ARINC 429.

Ze względu na jednokierunkowość transmisji każda jednostka, od której oczekiwana jest odpowiedź na zapytanie, bądź chce wysyłać dane, musi posiadać własną szynę danych. Ponadto poziomy napięcia przesyłanego sygnału silnie zależą od długości linii oraz liczby podlączonych do niej odbiorników. Z tego powodu do pojedynczej pary przewodów może być jednocześnie podłączony jeden nadajnik i nie więcej niż dwadzieścia jednostek odbierających [1]. Ograniczenia te stanowią główne wady standardu. Podsumowując ARINC 429 zapewnia dużą niezawodność kosztem masy w postaci zwielokrotnionej infrastruktury kablowej oraz niewielkimi prędkościami transmisji. Nie nadaje się, więc, on do zastosowań militarnych, natomiast od lat świetnie sprawdza się w lotnictwie komercyjnym oraz transportowym.

* 1. **MIL-STD 1553**

MIL-STD 1553 to szeregowa magistrala danych znajdująca szerokie zastosowanie w przemyśle militarnym. Zarys standardu, stworzony przez Society of Automotive Engineers, pojawił się juz w 1968 roku. Stał się on fundamentem dla wersji US Air Force. Wersja 1553B, opublikowana w roku 1978, została wykorzystana do integracji statku Air Force F-16 oraz śmigłowca bojowego US Army AH-64A Apache. Niedługo potem MIL-STD 1553B stał się powszechnie stosowanym na całym świecie standardem, służacym do integracji platform wojskowych.

W magistrali 1553 terminale są w relacji master/slave. Ruch w sieci jest kontrolowany przez urządzenie BC (Bus Controller), który jest jedynym terminalem typu master. Inicjalizuje on komunikację pomiedzy pozostałymi jednostkami RTs (Remote Terminals). Żaden RT nie może sie ‘odezwać’ bez polecenia bus controllera. Ponadto do szyny mogą zostać podłączone pasywne terminale monitorujące lub zapisujące przebieg transmisji. Maksymalna liczba RTs w systemie to 31.



Rysunek 2 Topologia magistrali MIL-STD 1553 []

Do komunikacji stosowane są trzy typy ramek:

- Command Word (polecenie wysyłane przez bus controller do konkretnego RT)

- Status Word (odpowiedź RT na polecenie od bus controllera)

- Data Word (ramka służąca do wymiany danych pomiędzy terminalami a controllerem)

Transmisja danych odbywa się dwukierunkowo, jednakże jest to jedynie półdupleks z modulacją TDM. Konkretne terminale mogą nadawać tylko w konkretnych przedziałach czasowych, w tym czasie pozostałe jednostki nasłuchują. Do modulacji sygnału zastosowany jest bifazowy kod Manchester NRZ (ang. non-return to zero).

Głównymi zaletami MIL-STD 1553 są : duża prędkość transmisji 1 Mbit/s, redundantna architektura (dwie szyny danych) oraz bardzo niski poziom błędu. Tylko jedno słowo na 10 milionów przesyłane jest błędnie. Standard sprawdza się w wielu różnych dziedzinach przemysłu. Stosuje się go do zapewnienia komunikacji w łodziach podwodnych, czołgach, rakietach oraz na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. [mil tut].

* 1. **ARINC 629**

ARINC 629 to magistrala przedstawiona przez firmę ARINC w 1995 roku. Została zaprojektowana tak, aby przezwyciężyć wszystkie ograniczenia swojego poprzednika - 429. Standard spełnia założenia o sieci, w której każda podłączona do wspólnej szyny danych jednostka może komunikować się dwukierunkowo z dowolnym innym źródłem. Taka topologia systemu sprawia, że komunikacja staje się swobodniejsza, terminale mają równe uprawnienia a architektrura jest zdecydowanie prostsza i bardziej elastyczna.



Rysunek 3 Topologia magistrali ARINC 629 [evolution]

Medium, jak w przypadku poprzednio wymienionych standardów, jest dwuprzewodowa skrętka. Maksymalna długość kanału została określona na 100m, a liczba podłączonych do niego urządzeń nie powinna przekroczyć 120. Prędkość transmisji wynosi 2 Mbit/s. Dane przesyłane są w postaci grup 20 bitowych ramek. Pierwsze 3 bity są związne z synchronizacją czasu, kolejne 16 zawiera właściwy komunikat a ostatnia pozycja to bit parzystości, stanowiący zabezpieczenie przed blędami [ARINC 629, safety].

Magistrala nie posiada bus controllera. Zabezpieczenie przed kolizją w transmisji ramek jest zrealizowane przez koncepcję podziału czasu. Jest to rozwiązanie podobne do MIL-STD 1553 z tą różnicą, że terminale autonomicznie podejmują dezycję, kiedy trwa ich slot czasowy, dzięki trzem wbudowanym zegarom kontrolnym: Transmit Interval, Synchronisation Gap oraz Terminal Gap Timer. Warunkiem ponownej transmisji dla każdego terminala jest spełnienie tych trzech kryteriów czasowych, które gwarantują bezkolizyjny przepływ danych [evolution].

Fakt, że ARINC 629 nie posiada jednego urządzenia zarządzającego ruchem w sieci, stanowi dużą zaletę w kwestii odporności na uszkodzenia. Ponadto każda podłączona jednostka stale monitoruje przebieg sygnału wejściowego i wyjściowego. Jednakże pomimo wszystkich wymienionych zalet oraz unowocześnień względem swoich poprzedników standard nie zyskał dużej popularności. Obecnie zastosowany jest w samolotach Boeing 777, Airbus A330 oraz A340, jednakże konstrukcje te zawierają również systemy rezerwowe, na przykład ARINC 429 [evolution net].

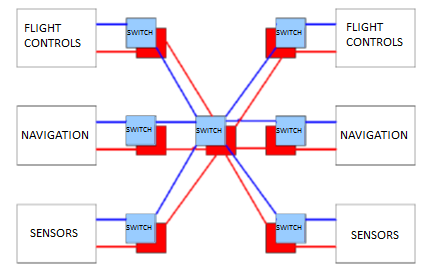
* 1. **ARINC 664**



ARINC 664, znany również pod nazwą AFDX (Avionics Full Duplex Ethernet), jest obiecującym protokołem, stworzonym aby sprostać wymaganiom najnowocześniejszej awioniki. Początkowo pracę nad nim rozpoczęła firma Airbus na potrzeby swojej nowej konstrukcji A380, dopiero później stał się oficjalnym standardem z rodziny ARINC. Jego specyfikacja[[1]](#footnote-1) została wydana w 2009 roku. Standard bazuje na dobrze już sprawdzonym protokole Ethernet, który zapewnia duże prędkości transmisji oraz niski koszt eksploatacji sieci. Konwencjonalny Ethernet pomimo swoich zalet nie mógłby zostać wprost zastosowany w systemach awionicznych. Jego nieredundantna architektura i probabilistyczne metody kontroli błędów nie spełniają wysokich wymagań przemysłu lotniczego odnośnie niezawodności oraz przewidywalności działania. Dlatego też konieczne okazało się stworzenie nowego standardu będącego jego adaptacją [net, evolution lepsze].

Standard 664 zapewnia transmisję full duplex, co oznacza jednoczesną, bezkolizyjną komunikację w obu kierunkach. Każa podłączona jednostka ma pełen dostęp do sieci. Teoretycznie prędkość przesyłu danych wynosi 100 Mbit/s, jednakże ze względu na zastosowanie przerw pomiędzy pakietami rzeczywista szybkość jest mniejsza.

Sieć AFDX ma architekturę gwiazdową i składa się zasadniczo z trzech elementów: terminali ES (End system), przełączników (ang. switches) oraz połączeń komunikacyjnych (ang. Virtual links). W przypadku dodania nowego podsystemu, wystarczy podłączyć go do wolnego portu przełącznika. W celu zapewnienia niezawodności działania każda sieć AFDX składa się z dwóch redundantnych podsieci A i B, przez które jednocześnie przesyłane są te same dane. Podsieci te są oddzielne zasilane oraz posiadają niezależne połączenia fizyczne.



Rysunek 4 Przykładowy schemat sieci AFDX.

Do głównych zalet AFDX można zaliczyć dużą prędkość przesyłu (prawie 1000 razy większa od ARINC 429), stosunkowo nieduża ilość okablowania ze względu na gwiazdową topologię oraz full duplex. Standard obecnie jest z powodzeniem używany na statkach Airbus A380, A400M, A350, Boeing 787 Dreamliner oraz wielu innych konstrukcjach [Architecting].

* 1. **ARINC 825**

ARINC 825 jest to jeden z najnowszych standardów obecnie stosowanych do integracji systemów awionicznych. Właściwie jest on standaryzacją istniejącego już i dobrze funkcjonującego CANa na potrzebę przemysłu lotniczego. Pomysł..

* + 1. **CAN (Controller Area Network)**

Standard Controller Area Network został stworzony w latach 80 XX wieku na potrzeby przemysłu motoryzacyjnego, jednakże ze względu na liczne zalety stał się jednym z ważniejszych i powszechnie stosowanych obecnie protokołów komunikacyjnych. CAN cechuje się wysoką odpornością na zakłócenia elektromagnetyczne, niewielkimi opóźnieniami oraz dużą niezawodnością, dzięki dobrej kontroli błędów. Ponadto implementacja sieci jest stosunkowo prosta i niekosztowna, co wyróżnia go na tle innych znanych standardów. Umożliwia on też większą swobodę w kwestii doboru złączy, przewodów oraz sposobów podłączenia terminali końcowych do szyny danych. Wszystko to sprawia, że jest on bardzo atrakcyjny dla przemysłu lotniczego. Jednakże, podobnie jak Ethernet w przypadku AFDX, wymaga ówcześniejszego przystosowania, zanim będzie mógł samodzielnie służyc jako lotniczy standard komunikacyjny. Głównym niedostatkiem konwencjonalnego CANa jest brak priorytetyzacji wiadomości oraz fakt, że niemożliwe jest logiczne połączenie typu peer-to-peer. [gen stand a825].

* + 1. **Ogólna zasada działania**
    2. **Dodatkowe funkcjonalności ARINC 825**
    3. **Warstwa fizyczna**
    4. **Warstwa łącza danych**

1. **Projekt urządzenia**
   1. **Opis**

Projektowane w ramach tej pracy inżynierskiej urządzenie ma umożliwić podłączenie komputera do magistrali danych ARINC 825. Ma ono stanowić interfejs pozwalający na wymianę danych z innymi terminalami w sieci. Kluczowymi elementami systemu jest główna jednostka operacyjna – mikrokontroler STM32F103RB oraz układ scalony HI-3110, który jest sterownikiem CAN wraz ze zintegrowanym transceiverem. Układ HI-3110 jest w pełni kompatybilny ze standardem ISO 119898-2, co stanowi warunek konieczny implementacji ARINC 825. Komunikacja pomiędzy mikrokontrolerem a HI-3110 odbywa się poprzez interfejs SPI. Natomiast do wymiany informacji z komputerem wykorzystany jest standard UART. Nie można jednak zrealizować bezpośredniego połączenia przez ten protokół, konieczny jest konwerter UART/RS-232, z którego dopiero sygnał wędruje przez złącze USB do stacji PC. Poza aplikacją desktopową interakcja z systemem będzie możliwa przez diody LED oraz przyciski.



Figure 1 Uproszczony schemat urządzenia.

Praca obejmuje wytworzenie tylko jednej jednostki, więc będzie ona pracować w trybie testowym, nie zakłócającym pracy szyny danych. Taki tryb pracy nazywany jest Loopback Mode. Oznacza to, że wiadomości wysyłane przez terminal zostają zapętlone i powracają jako wiadomości przychodzące.

* 1. **Wymagania funkcjonalne**
     1. Urządzenie musi umożliwiać przesyłanie ramek przez jeden kanał ARINC825.
     2. Urządzenie musi wspierać rozszerzone ramki 29 bitowe zgodne ze standardem ISO 11898-1.
     3. Urządzenie musi łączyć się z komputerem poprzez interfejs USB.
     4. Urządzenie powinno posiadać włącznik główny oraz przycisk RESET.
     5. Urządzenie powinno posiadać diody sygnalizujące o jego aktualnym stanie (zasilanie, komunikacja z komputerem, sleep mode, arinc state/traffic).
     6. Urządzenie powinno pracować w trybach: normalnym, sleep oraz loopback do celów testowych.
     7. Urządzenie musi współpracować z przygotowaną dedykowaną aplikacją do jego obsługi, działająca pod systemem Windows.
  2. **Zewnętrzne interfejsy urządzenia**
     1. Podłącznie do komputera powinno odbywać się poprzez złącze microUSB.
     2. Podłączenie do szyny ARINC powinno odbywać się przez złącze Sub-D9.
     3. W przypadku podłączenie do szyny ARINC musi być możliwe zastosowanie adaptera Sub-D9/RJ45.
  3. **Wymagania projektowe**
     1. Urządzenie wraz z obudową nie może przekroczyć wymiarów WxLxH.
     2. Obudowa musi zawierać otwory umożliwiające podpięcie do urządzenia niezbędnych złączy.
     3. Urządzenie nie powinno ważyć więcej niż 50g.
     4. Urządzenie powinno być zasilane napięciem 5V poprzez interfejs USB.
     5. Urządzenie musi być zdolne do pracy w rozszerzonym zakresie temperatur -55 do 125 deg C.
     6. Wejścia w złączu Sub-D9, CANL oraz CANH muszą przyjąć napięcie z zakresu -58V do 58V.
  4. **Projekt PCB**

1. **Aplikacja desktopowa**
   1. **Opis systemu**

Projektowana aplikacja ma za zadanie umożliwiać obsługę urządzenia opisanego w poprzednim rozdziale. Główną funkcjonalnością systemu jest podgląd wiadomości otrzymanych oraz przekazywanie do wysłania własnych ramek danych. Program pozwala na skomponowanie ramki w prosty i intuicyjny sposób. Również wiadomości przychodzące wyświetlane są już jako zdekodowne zespoły parametrów zamiast surowych ciągów bitowych. Ponadto w aplikacji możliwa jest szczegółowa konfiguracja interfejsu ARINC.

* 1. **Wymagania funkcjonalne**
  2. **Wymagania niefunkcjonalne**
  3. **Struktura aplikacji**

1. **Przypadki testowe**

# **Bibliografia**

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | J. Zalewski, D. Trawczyński, J. Sosnowski, A. Kornecki i M. Śnieżek, „Safety Issues in Avionics and Automotive Databuses,” Computer Science Department, Florida Gulf Coast Univeristy, Fort Myers, 2005. |
| [2] | F. M. Christian, „The Evolution of Avionics Networks, From ARINC 429 to AFDX,” w *Seminar Aerospace Networks SS2012*, Munich, 2012. |

1. 664P7-1 Aircraft Data Network, Part 7, Avionics Full-Duplex Switched Ethernet Network [↑](#footnote-ref-1)