

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Цифрова техніка/Електронні інструментальні системи»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт
(Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів)***

за темою № 3 - Шини даних бортових комп'ютерних мереж

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.23 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.23 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.23 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання,
протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання,
спеціаліст вищої категорії, викладач-методист
Стуцанський Ю.В.

Рецензенти:

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.

План лекції

1. Характеристика та структура шин даних.
2. Стандартизація авіаційних інтерфейсів.
3. Стандарт на канал інформаційного обміну ARINC-429.
4. Стандарт на канал інформаційного обміну MIL-STD-1553B.
5. Стандарт на канал інформаційного обміну ARINC-629
6. Масштабуємі інтерфейси.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті.

Основна література:

1. Авіаційні радіоелектронні системи / О.О.Чужа, О.Г. Ситник, В.М. Хімін, О.В. Кожохіна. – К.:НАУ, 2017. – 264с.
2. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов. – К. : НАУ, 2013. – 272 с.
3. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. / В.О. Рогожин, В.М. Синєглазов, М.К. Філяшкін. Підручник. – К.: НАУ, 2005. – 316с.
4. Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання. Навч. посіб. / А.В. Скрипець. – К.:НАУ, 2003. – 396с.

Допоміжна література:

1. Приладове обладнання та електронна автоматика літальних апаратів/ В.А. Антілікаторов, М.М. Петренко, А.В. Статигін. – Х.:ХНУПС, 2017.-172с.
2. Єдині конспекти по АіРЕО Мі-2 на цикловій комісії.
3. Керівництво з льотної експлуатації вертольота Мі-2 - М.: Департамент повітряного транспорту, 1996.
4. Конспекти лекцій з базової підготовки технічного персоналу згідно вимог Part-66, Part-147 (Модуль 3, 13, 14).

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. http://aviadocs.com/RLE/Mi-2/CD1/IYETO/MI-2_IYETO_kn2.pdf
2. http://aviadocs.com/RLE/Mi-2/CD1/IYETO/MI-2_IYETO_kn3.pdf
3. http://aviadocs.com/RLE/Mi-2/CD1/IYETO/MI-2_IYETO_kn1_ch2.pdf
4. http://aviadocs.net/RLE/Mi-2/CD1/RTO/Mi-2_RTO-75EP_ch2.pdf
5. http://aviadocs.com/RLE/Mi-8/CD1/TO/Mi-8_TO_kn4.pdf
6. http://www.aviadocs.net/RLE/Mi-8/CD1/TO/Mi-8_TO_kn1.pdf
7. http://flightcollege.com.ua/library/3_Mi_8_MTV_1_RTE%60_Kniga_4.pdf

Текст лекції:

1. Характеристика та структура шин даних.

Однією з найбільш загальних характеристик процесора є розрядність його шини даних і шини адреси.

Коли говорять про шину процесора, зазвичай мають на увазі шину даних, яка є набором сполук, для передачі і прийому даних. Чим більше сигналів одночасно надходить на шину, тим більше даних по ній передається за певний інтервал часу, і тим швидше вона працює. Розрядність шини даних подібна кількістю смуг автомагістралі - чим більше смуг, тим більше потік машин, чим ширше шина даних, тим більше даних за однакові проміжки часу по ній передається. У процесорі 286 для прийому і передачі двійкових даних використовується 16 сполук, тому їх шина даних вважається 16 - розрядної. У 32 -х розрядних процесорів (наприклад, 486), таких сполук вдвічі більше, тому за одиницю часу вони передають і отримують вдвічі більше даних, ніж 16 - і розрядні процесори - зрозуміло, ефективність вища. Сучасні процесори (починаючи з Pentium) мають 64 -х розрядну шину даних, тому вони можуть передавати в системну пам'ять по 64 біта за один такт. Така реалізація дозволяє прискорити обмін даними між швидким процесором і відносно повільним ОЗУ при незмінній робочій частоті останнього за рахунок підвищення пропускної здатності шини даних.

Розрядність шини даних процесора визначає також розрядність банку пам'яті. Це означає, що, наприклад, 32 -х розрядний процесор (наприклад, 486) зчитує з пам'яті і записує в пам'ять 32 біта одночасно. Процесори класу Pentium і вище зчитують і записують при операціях з пам'яттю 64 біта одночасно. Оскільки розрядність стандартного модуля SIMM 72 контактний дорівнює 32 бітам, то в системи на базі 486 процесорів можна встановлювати по одному модулю SIMM 72 штифт, а в Pentium системи - по два таких модуля або один модуль DIMM 168 контактний, у якого ширина шини даних дорівнює 64 біта. Таким чином ми визначили, за допомогою якої шини процесор пов'язаний з оперативною пам'яттю і від розрядності цієї шини звичайно ж залежить продуктивність процесора. Тепер давайте розберемося, як процесор обробляє отримані з оперативної пам'яті дані.

2. Стандартизація авіаційних інтерфейсів.

Від початку зародження авіоніки кожен систему розміщували у спеціально відведеному для неї місці. Інформація від однієї системи до іншої передавалася за допомогою аналогових каналів передавання даних. Це потребувало дуже великої кількості провідникових з'єднань між блоками. Крім того, аналогові ДБ мали дуже низьку завадостійкість. Для вирішення цих проблем у 1974 р. військові США розробили перший цифровий канал передавання даних (Digital Data Bus – DDB) MIL-STD-1553 та впровадили його для міжсистемного обміну даних. Дещо

пізніше з'явився стандарт ARINC 429 для використання у цивільній авіації, який дотепер використовують виробники авіоніки. Проте застосування цифрових каналів обміну даних між відокремленими системами не підвищувало функціональності та гнучкості систем.

Федеративна концепція побудови систем авіоніки дозволила об'єднувати модулі і блоки у певні «федерації» з однією шиною для передавання даних. За допомогою спеціальних модулів шини «федерацій» систем об'єднувались у глобальну мережу літака. Розвиток систем авіоніки потребував створення нових більш швидких стандартів DB. Військові модернізували MIL-STD-1553B і на його основі створили STANG 3910. У цивільній авіації був обраний принципово інший напрям та створений новий стандарт ARINC 629.

Збільшення кількості систем авіоніки та підвищення обчислювальної здатності комп'ютерної техніки потребували дуже тісної

інтеграції різних систем і блоків авіоніки на різних рівнях функціонування. Це стало причиною розроблення та використання ІМА. Вимоги до пропускної здатності DDB продовжують невідпинно підвищуватися. Це зумовлено тим, що перед системами авіоніки постають дедалі нові завдання, що потребують передавання

великих потоків інформації у реальному масштабі часу. Як результат почали з'являтися надшвидкісні DDB (STANAG 7076, Fiber channel, AFDX).

Основні типи цифрового передавання інформації:

- Одне джерело – один приймач. Це один з найпростіших DDB, що забезпечує передавання даних від однієї частини обладнання до іншої.

- Одне джерело – багато приймачів. Описує технологію передавання інформації від одного блока до певної кількості інших (ARINC 429).

- Багато передавачів – багато приймачів. У цих DDB декілька, а то й більше передавачів можуть передавати інформацію певній кількості приймачів (MIL-STD-1553B, ARINC 629).

На борту сучасного літака використовують велику кількість різних каналів інформаційного обміну: всередині складових блоків авіоніки, прості інтерфейси для зв'язку з датчиками та складні у побудові DDB для зв'язку систем між собою. Упровадження DDB потребувало розроблення стандартів для них. Створення єдиних стандартів дозволило різним виробникам будувати взаємозамінні блоки, які могли б обмінюватись інформацією між собою.

3. Стандарт на канал інформаційного обміну ARINC-429.

Всі бортові інтерфейси, єдиний інтерфейс повинен відповідати наступним загальним вимогам:

- повинен бути розрахований на жорсткі умови бортового застосування;
- повинен забезпечувати високу надійність, а для цього повинен бути

нечутливий (толерантний) до відмов окремих елементів;

- повинен працювати в реальному масштабі часу;
- повинен бути контроле придатний;
- не повинен бути вимогливий щодо технічного обслуговування.

На фізичному рівні для організації каналу зв'язку використовується з'єднання двома сплеченими та добре екранованими проводами. Довжина з'єднувальних проводів стандартом непередбачена, проте мережеве обладнання дозволяє забезпечити функціонування з довжиною кабелю до 90 м. Ураховуючи той факт, що переважна більшість проводових з'єднань на ПК не перевищує 55 м. ARINC 429 може бути використаний для організації каналу зв'язку між будь-якими LRU.

Передавання інформації у зворотному напрямку непередбачена. У разі потреби для цього використовують окрему лінію зв'язку (рис. 1).

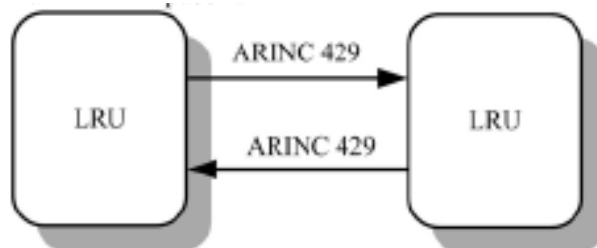


Рис.1 Організація двостороннього обміну інформацією.

Відповідно до цього для організації дуплексного зв'язку використовуються дві лінії DDB. Усі приймачі інформації з'єднуються в одну пару проводів і кожний вибирає з інформації те, що передається і те, чого потребує. Передавання несинхронне, тобто блок-джерело передає інформацію, коли вона готова до передачі. Приймач повинен бути готовий прийняти цю інформацію, чи принаймні розмістити її у внутрішній пам'яті для того, щоб не втратити її. Сигналів повідомлення про приймання інформації немає. Оскільки дані передаються циклічно, тоді неправильно прийняте повідомлення можна отримати іншим разом.

Для передавання цифрової інформації використовується дворівневий стан амплітуди відносно нульового значення. Низький рівень відповідає логічному нулю «0», а високий – логічній одиниці «1» (рис. 2). Нульовий стан відображає паузу між передаваними бітами.

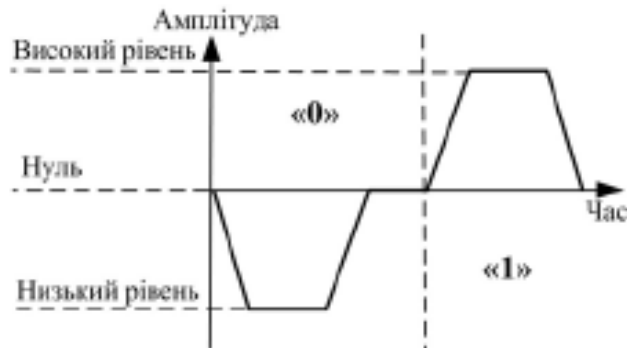


Рис. 2 – Дворівневий стан амплітуди відносно нульового значення

Сигнал набуває трьох станів: високого, нульового та низького, що забезпечується різною величиною напруги між двома проводами кабелю DDB. Логічній одиниці відповідає передавання імпульсу напругою $+10 \pm 1\text{В}$, що слідує за «нульовим» періодом напругою $0 \pm 0,5\text{В}$. Логічному нулю відповідає передавання імпульсу напругою мінус $10 \pm 1\text{В}$. Рівень напруги, що приймається приймачем, має становити від $+6,5$ до $+13\text{В}$ для реєстрації логічної одиниці, від мінус $6,5$ до мінус 13В для реєстрації логічного нуля та від $+2,5$ до мінус $2,5\text{В}$ для реєстрації «нульового» рівня.

Тривалість кожного стану за часом є однаковою і відповідає швидкості передавання даних. Інформація у каналі зв'язку передається за допомогою цифрового слова, що складається з 32 розрядів (рис. 3).

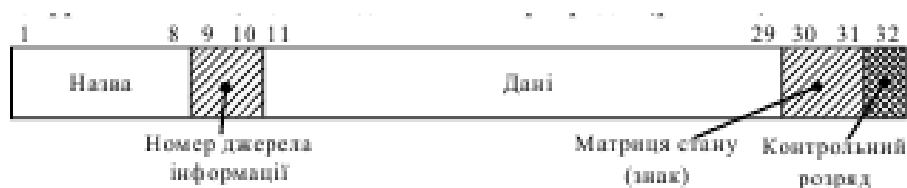


Рис.3- Цифрове слово ARINC

Перші 8 розрядів слова – це назва інформації, що в ньому міститься. Відповідно до таких розмірів джерело може видавати до 255 різних видів інформації з різними назвами.

У розрядах 9 та 10 передається номер джерела інформації. Крім того, ці розряди можуть використовуватись для вказування номера приймача, якому адресована ця інформація.

Дані передаються у розрядах 11 – 29. Залежно від типу даних можливі декілька основних типів слів:

- дані у двійковому коді;
- дані у двійково-десятковому коді;
- слова дискретних сигналів;
- дані технічного обслуговування;

– цифросимвольна інформація.

У двійковому коді знак даних передається у 29-му розряді:

0 – плюс, північ, схід, управо, вверх, до;

1 – мінус, південь, захід, уліво, вниз, від.

Кутові координати передаються у межах від 0 до 179,999°. Слова у двійково-десятьковому коді містять п'ять цифр, кожна з яких кодується чотирма розрядами. Слова дискретних сигналів передаються відповідними станами по одному в кожному розряді.

Цифросимвольна інформація кодується в алфавіті міжнародного стандарту ISO 5.

Два розряди матриці стану (30 і 31) містять різну інформацію залежно від типу передаваних даних. Так, наприклад, у них можна розмішувати інформацію про стан джерела даних, режим його функціонування або достовірності переданих даних.

Останній 32-й розряд є контрольним, його значення заповнюється передавачем таким чином, щоб загальна кількість одиниць у слові була непарна. Контроль парності приймачем дозволяє визначити цілісність слова і не використовувати його у випадку виявлення збою.

Решта розрядів у цифровому слові, що не використовуються, заповнюються нулями.

ARINC 429 забезпечує передавання інформації зі швидкостями 100 кбіт/с та 12–14,5 кбіт/с. Синхронізація передавання інформації забезпечується чотирма розрядами, що відділяють одне слово від іншого.

4. Стандарт на канал інформаційного обміну MIL-STD-1553B.

Це один з найперших (уперше був використаний у 1973 р. під час побудови винищувача F-15) стандартів на канали передавання інформації у цифровому вигляді, що й досі використовується під час побудови літаків військового призначення..

Швидкість обміну даними у MIL-STD-1553B становить до 1 Мбіт/с. Цей DDB забезпечує обмін даними між одним контролером DDB і до 31 LRU, використовуючи для цього з'єднання за допомогою пари екранованих мідних проводів (рис. 4), що утворюють єдину шину передавання даних.

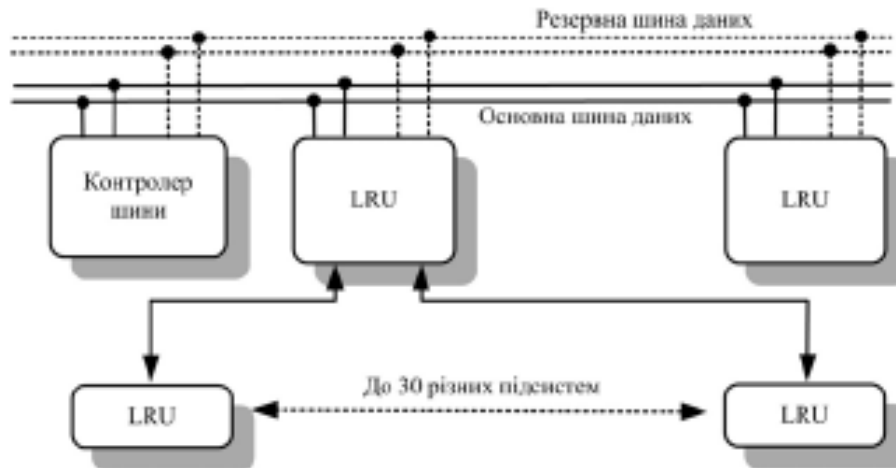


Рис.4 – Структура MIL-STD-1553В.

Кожний з LRU приєднується до загальної шини передавання даних паралельно іншим. Для керування передаванням даних через загальну шину даних та зокрема для розподілу часу використання загальної шини для передавання інформації застосовують спеціальний пристрій – контролер.

Контролер DDB виконує функції комутуючого пристрою, видаючи дозвіл на початок обміну даними між контролером DDB та будь-яким LRU чи між двома різними LRU з'єднаними каналами інформаційного обміну незалежно від напрямку передавання інформації. Крім того, можливе передавання даних у широкомовному режимі від контролера DDB або одного з LRU до всіх інших LRU, приєднаних до мережі.

Надійність каналу передавання даних досягається завдяки використанню резервних шин даних та резервного контролера DDB. Так, будуючи DDB, що відповідають за контроль та керування параметрами двигуна, можна чотири рази резервувати шини передавання даних і контролер. Кожний з LRU можна з'єднувати з іншим аналогічним DDB, тим самим забезпечуючи можливість розширення мережі через збільшення кількості приєднаних LRU (рис. 5).

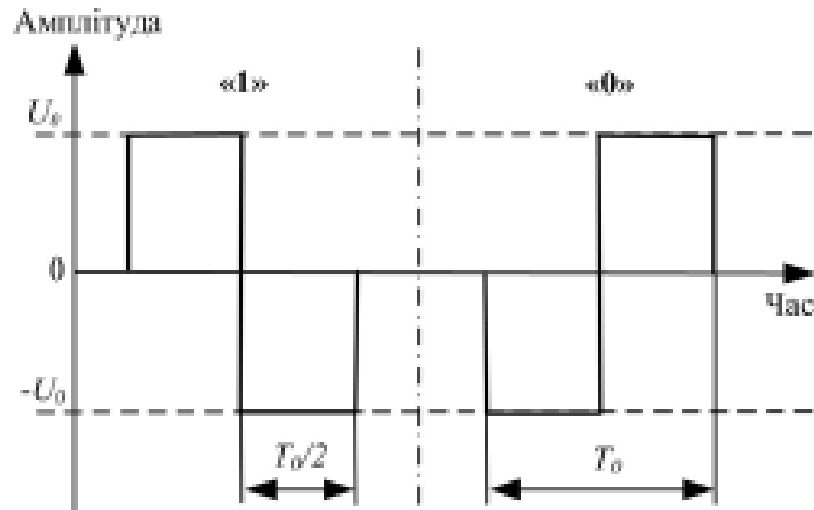


Рис.5- Кодування кодом МАНЧЕСТЕР II

Код «манчестер» утворюється за допомогою поєднання синхросигналу та сигналу даних (рис.6), що можливо за допомогою логічної операції оберненого виключного «АБО» (eXclusive iNverse OR – XNOR).

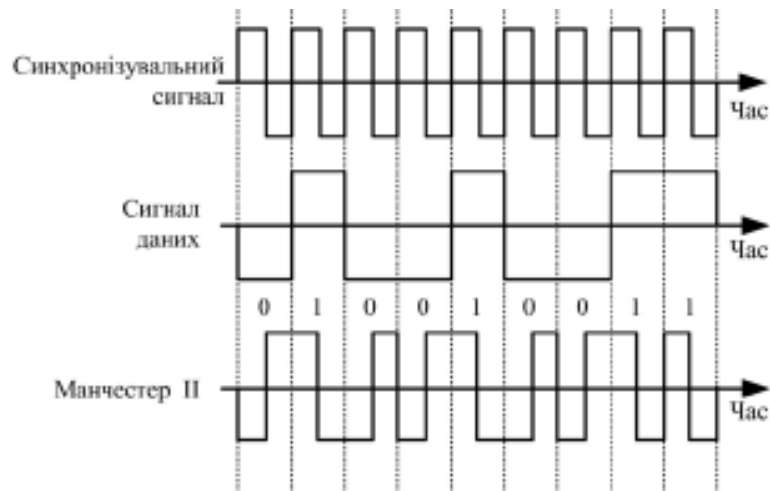


Рис.6- кодування кодом МАНЧЕСТЕРII

Отриманий закодований сигнал передається через провідникове з'єднання: через один провід – у звичайному вигляді, а через другий – в оберненому (рис.7). Оскільки два проводи прокладені разом, то відповідно завади діють на передані сигнали однаково. У результаті дії цих завад у точці приймання обидва сигнали спотворюються однаково. Це дозволяє позбутися набутих сигналом завад за допомогою звичайного віднімання одного сигналу від іншого під час декодування (рис.8).

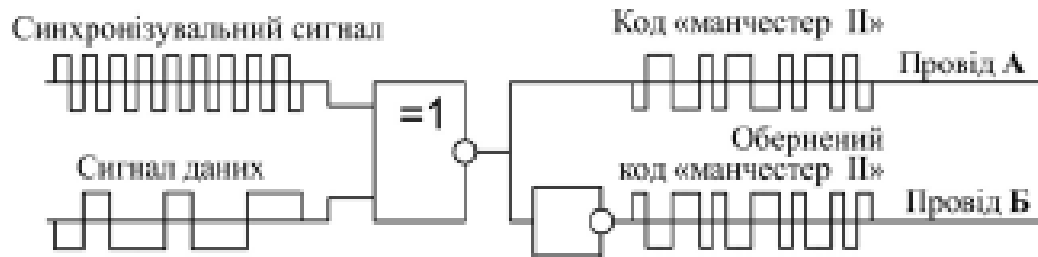


Рис.7- Кодування за допомогою логічної операції XNOR

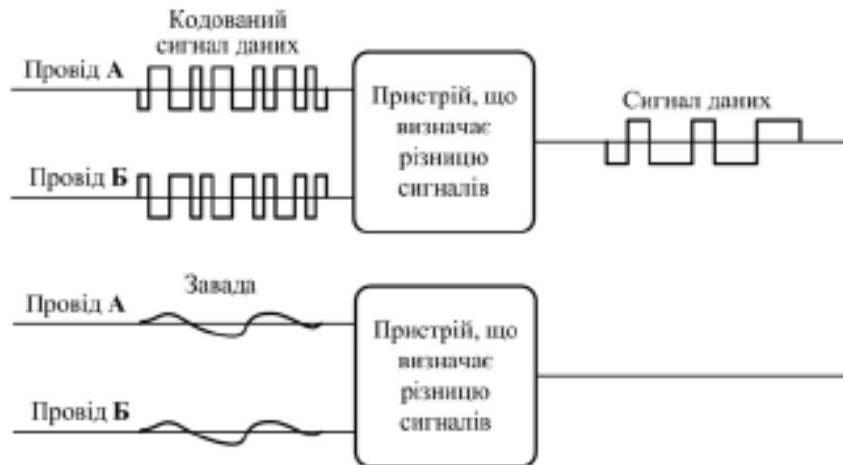


Рис.8 – Видалення завад

У MIL-STD-1553В інформація передається за допомогою 20-розрядних слів. Кожне цифрове слово складається із сигналу синхронізації, 16 інформаційних розрядів та розряду для контролю приймання інформації (перевіряється парність). У MIL-STD-1553В використовуються три різні формати цифрових слів (рис.9) :

- командне цифрове слово;
- інформаційне цифрове слово;
- цифрове слово стану.

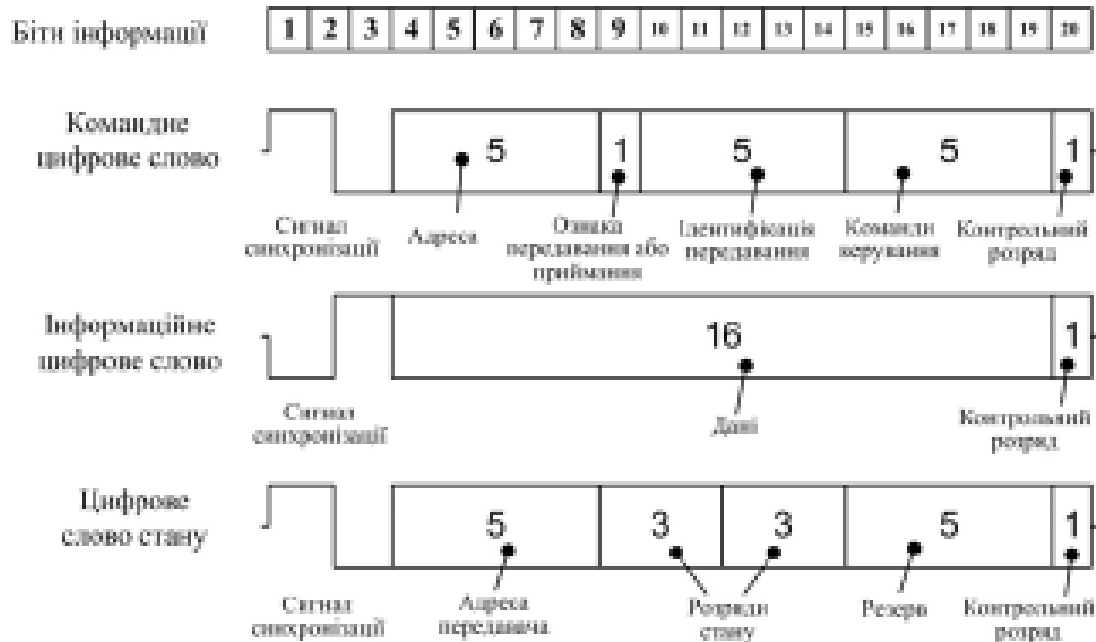


Рисунок 9 – Структура слова MIL-STD-1553B

Під час організації передавання даних між контролером і будь-яким LRU та у зворотному напрямку інформація розбивається на частини по 16 біт і передається 1 – 32 інформаційними цифровими словами залежно від розміру даних.

Дані від одного LRU до іншого передаються напряму, проте під наглядом контролера.

Під час передавання даних від одного LRU до всіх інших видається тільки цифрове слово передавача. Цифрові слова приймачів у цьому випадку не видаються.

5. Стандарт на канал інформаційного обміну ARINC-629

ARINC 629 являє собою стандарт на організацію DDB, орієнтованого на забезпечення зв'язку типу «одне джерело – багато приймачів» та «багато передавачів – багато приймачів». Він розроблений для застосування під час побудови літаків цивільної авіації. Уперше був використаний у 1989 р. під час побудови Boeing 777.

ARINC 629 – це швидкісний DDB на відміну від ARINC 429, який забезпечував швидкість передавання інформації 100 кбіт/с. Швидкість передавання даних ARINC 629 становить 2 Мбіт/с, що у 20 разів швидше від ARINC 429 та у два рази швидше ніж MIL-STD-1553B.

Принцип організації зв'язку ARINC 629 аналогічний до MIL-STD-1553B. Окремі модулі приєднуються до загальної шини передавання даних. Загалом ARINC 629 підтримує підключення до 128 окремих LRU до однієї шини даних. Крім того, для забезпечення надійності шини передавання даних резервуються двократно чи навіть трикратно для особливо важливих систем ПК (рис. 10).

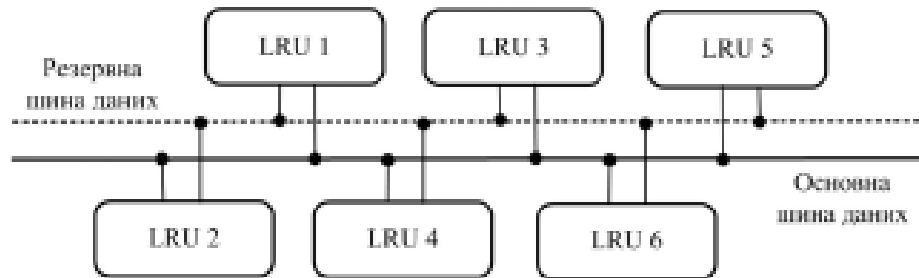


Рис.10 – Структура ARINC-629

До однієї шини даних можна підключати до 128 LRU, проте кожен з LRU може мати власну відокремлену мережу, що охоплює, наприклад, певну підсистему ПК (рис.11).

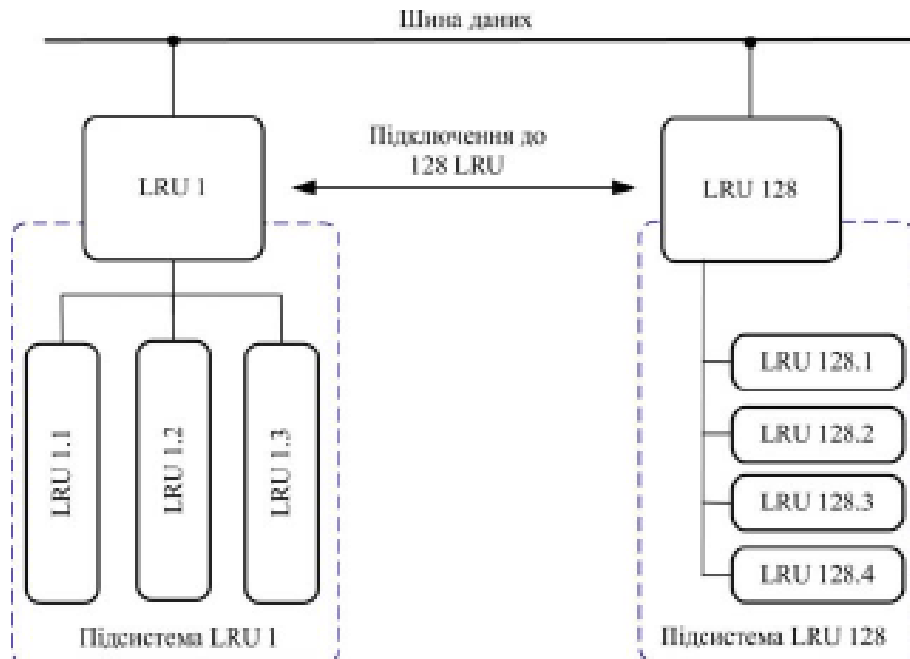


Рис.11 – Побудова зв'язків ARINC-629

На відміну від MIL-STD-1553B ARINC 629 не має контролера шини як окремого блока. Функцію контролю виконує спеціальний блок зв'язку (виконаний у вигляді мікросхеми), що інтегрується в кожний LRU. Доступ до шини передавання даних забезпечується відповідно до часової концепції. При цьому кожному LRU у мережі виділяється певний проміжок часу, протягом якого йому надається можливість передавати інформацію у шину даних. Відповідно до вказаної адреси наявну інформацію у шині даних приймає лише той LRU, якому вона адресована.

Цифрове повідомлення ARINC 629 (рис.12) складається із цифрових рядків, загальна кількість яких може змінюватись до 31.



Рисунок 12 – Структура цифрового повідомлення ARINC 629

Кожний цифровий рядок складається з назви та певної кількості цифрових слів (до 256 цифрових слів у одному цифровому рядку).

Будова цифрового слова може бути різною залежно від переданої інформації.

Дані за ARINC 629 можуть передаватися або за основним, або за комбінованим протоколом. Простий приклад передавання інформації за ARINC 629 у мережі з трьох LRU (LRU1, LRU2, LRU3) за основним протоколом.

Кожний з LRU має однаковий інтервал передавання інформації, визначений конфігурацією системи (0,5–64 мс), який починається завжди, коли LRU передає повідомлення (П). Повідомлення містить унікальну назву модуля (НМ), різну для кожного LRU.

Назва модуля передається щоразу перед початком нового інтервалу передавання або після синхронізації. Сигнал синхронізації (С) однаковий для всіх LRU і видається по завершенні передавання повідомлення останнім LRU.

У межах кожного циклу передавання інформації черговість видачі інформації у шину даних установлюється заздалегідь. Загальну черговість усіх LRU записано у внутрішній пам'яті кожного з блоків керування LRU. Після передавання повідомлення (П) першим LRU, наступний за чергою LRU видає свою НМ, за якою передається його повідомлення П і так далі.

Підвищена швидкість передавання даних та більш технологічна гнучкість ARINC 629 надають йому більше переваг порівняно з ARINC 429 у побудові бортових DDB для ПК цивільної авіації.

6. Масштабуємі інтерфейси.

На даний час на борту ЛА одночасно використовується кілька різних інтерфейсов. Одні з них потрібні для передачі безперервних потоків Цифровізувати відео- і аудіосигналів (радар, оптико-локаційна станція, відеокамери, внебортові джерела інформації), інші використовуються при передачі сигналів від датчиків, треті забезпечують взаємодія між цифровими системами і т.д. Міжсистемні

інтерфейси відрізняються від інтерфейсів, що зв'язують електронні блоки однієї системи, а міжблочні інтерфейси відрізняються від внутрішньоблокових, причому в різних системах міжблочні і внутрішньоблокові інтерфейси також різні. Для контролю та технічного обслуговування, для завантаження програм і даних застосовують свої особливі види інтерфейсів.

Наявність на борту різних інтерфейсів ускладнює апаратуру введення-виведення, вимагає постійного перетворення інформації з однієї форми в іншу. Ідеальним рішенням було б єдиний інтерфейс, який об'єднує всі функціональні завдання, що з'єднує в єдину мережу всі модулі і блоки бортового обладнання. Це дозволило б значно зменшити кількість інтерфейсних пристроїв і проводів, тим самим зменшилася б маса і вартість обладнання. Але для того, щоб задовольнити вимогам різних додатків, єдиний інтерфейс повинен бути дуже гнучким. Він повинен бути масштабованим, так як може застосовуватися як для зв'язку дешевих простих датчиків, невимоглих до пропускну здатності і затримки інформації, так і в складних системах з великим потоком інформації і жорсткими обмеженнями на допустиму затримку. Так як в деяких випадках, наприклад, в мультипроцесорній системі з пам'яттю, потрібно пропускну здатність, що обчислюється в гігабіта в секунду, а в інших випадках - набагато менше, єдиний інтерфейс повинен бути масштабованим в десятки разів відносно пропускну здатності. Масштабованість необхідна і для того, щоб можна було покращувати характеристики обладнання в процесі 30 років життя ЛА, що не переробляючи бортовий інтерфейс. Єдиний інтерфейс повинен вміти смішувати повідомлення, якими обмінюються системи, з потоком даних від сенсорів, відео- і аудіосигналами, але так, щоб ці повідомлення не були заблоковані потоком інформації і надходили до місця призначення вчасно, допустима затримка може обчислюватися тільки одиницями мікросекунд. Він повинен вміти підтримувати і обмін повідомленнями, і роботу з пам'яттю, що. Так як довжина зв'язків може коливатися від декількох сантиметрів до десятків метрів, єдиний інтерфейс повинен бути нечутливий до відстані. Так як існуюче сьогодні обмеження по пропускну здатності не дозволяє по послідовному каналу передавати інформацію зі швидкістю понад 1 Гбіт / с, єдиний інтерфейс повинен підтримувати як послідовне, так і паралельне з'єднання. Єдиний інтерфейс повинен бути розрахований і на електричну, і на оптичну середу передачі, так як оптична зв'язок потрібна для передачі на великі відстані і вона нечутлива до електромагнітних перешкод, в той час, як електрична зв'язок простіше, дешевше і цілком достатня для внутрішньоблокові застосування. Такий інтерфейс повинен бути простим, недорогим, повинен задіяти трохи контактів роз'єму. У зв'язку з тим, що єдиний інтерфейс використовується і всередині, і поза електронних блоків, він повинен бути завадостійкий і нечутливий до електромагнітних випромінювань. Він повинен передбачати легке додавання і виключення обладнання на борту.

