

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет Аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
проф. Г.Ф. Конахович

---

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

# **ДИПЛОМНА РОБОТА**

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЮ**  
**«МАГІСТР»**

**Тема: «Формувач сигналів відповіді вторинної РЛС із застосуванням  
ПЛІС»**

**Розробив**

О.С. Виноградов

**Керівник**

О.В. Зуєв

**КОНСУЛЬТАНТИ З РОЗДІЛІВ:**

Охорона праці

І.В. Якимець

Охорона навколишнього середовища

І.М. Горбач

Нормоконтролер з ЄСКД

М.М. Малоєд

**Київ 2020**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем  
Спеціальність 172 «Авіаційні радіоелектронні комплекси»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
проф. В.М. Васильєв

---

«....» ..... 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломну роботу студента

**ВИНОГРАДОВА ОЛЕКСАНДРА СЕРГІЙОВИЧА**

**1. Тема роботи:** Формувач сигналів відповіді вторинної РЛС із застосуванням ПЛІС затверджена наказом ректора від «12» листопада 2019 р. № 2639/ст.

**2. Термін виконання роботи:** з 15 жовтня 2019р. до 3 лютого 2020 р.

**3. Вихідні данні до роботи:**

Вторинна РЛС.

Формувач сигналів відповіді.

Елементна база — ПЛІС.

**4. Зміст роботи:**

Місце радіолокації в цивільній авіації.

Системи вторинної радіолокації.

Бортові відповідачі.

Синтез окремих функціональних вузлів вторинного радіолокатора.

Питання охорони праці та навколишнього середовища.

Перелік використаних джерел.

## 5. Перелік графічного матеріалу.

Принципи дії первинної та вторинної радіолокації.

Узагальнена структурна схема вторинної РЛС.

Структурна та функціональна схеми формувача сигналів відповіді.

Принципи побудови ПЛІС.

Принципова схема шифратора сигналів відповіді на базі ПЛІС.

## 6. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	І.В. Якимець		
Охорона навколишнього середовища	І.М. Горбач		

## 7. Дата видачі завдання: 15 жовтня 2019 р.

Керівник дипломної роботи

Завдання прийняв до виконання

О.В. Зуєв

О.С. Виноградов

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Найменування етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення з тематикою дипломних робіт. Вибір теми.	15.10.2019	
2	Обробка матеріалів за темою дипломної роботи.	28.10.2019	
3	Місце радіолокації в цивільній авіації.	11.11.2019	
4	Системи вторинної радіолокації.	02.12.2019	
5	Бортові відповідачі.	15.12.2019	
6	Синтез окремих функціональних вузлів вторинного радіолокатора.	06.01.2020	
7	Питання охорони праці та навколишнього середовища.	20.01.2020	
8	Перелік використаних джерел.	23.01.2020	
9	Оформлення дипломної роботи.	27.01.2020 р.	
10	Подання на кафедру дипломної роботи. Усунення недоліків.	03.02.2020 р.	
11	Підготовка матеріалів до презентації	Перед захистом	

Студент-дипломник

О.С. Виноградов

Керівник роботи

О.В. Зуєв

УДК 621.396(045)

*Виноградов О.С.* Формувач сигналів відповіді вторинної РЛС із застосуванням ПЛІС / керівник доцент Зуєв О.В., кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем. Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2020.

У пояснювальній записці до дипломної роботи розглянута робота вторинної РЛС та обробка сигналу відповіді від бортового відповідача. У ході дипломної роботи був розроблений шифратор сигналу відповіді на базі ПЛІС. Результати роботи можна використовувати як в реальних пристроях, так і для навчального процесу.

*Стор. 123 рис. 45, список літ.: 10 джерел.*

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 МІСЦЕ РАДІОЛОКАЦІЇ В ЦИВІЛЬНІЙ АВІАЦІЇ	8
1.1 Керування повітряним рухом і радіолокація	8
1.2 Класифікація радіолокаційних систем	9
1.3 Завдання, які вирішуються системами вторинної радіолокації	13
1.4 Air Traffic Management і концепція «Free Flight»	13
1.5 Висновки	15
2 СИСТЕМИ ВТОРИННОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ	17
2.1 Загальні відомості	17
2.2 Різновиди вторинних радіолокаційних систем	18
2.3 Функціонування селективної системи вторинної радіолокації	20
2.4 Завади в системах вторинної радіолокації	23
2.5 Висновки	28
3 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БОРТОВИХ ВІДПОВІДАЧІВ	30
3.1 Загальні відомості	30
3.2 Бортові відповідачі типу ATCRBS	32
3.3 Висновки	35
4 КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СИСТЕМ	36
4.1 Загальні відомості про програмовані логічні інтегральні системи	36
4.2 Архітектура мікросхем сімейства Cyclone II	40
4.3 Архітектура логічного елемента, логічний блок та конфігурований блок пам'яті M4K	41
4.4 Архітектура блоку ФАПЧ	45
4.5 Знайомство з ПЛІС фірми ALTERA сімейства Cyclone IV	47
4.6 Висновки	49
5 ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМУВАННЯ НА МОВІ VERILOG HDL	51
5.1 Загальні відомості про мову програмування Verilog HDL	51
5.2 Специфікація Verilog HDL в середовищі розробки Quartus II	53
5.3 Типи даних, що використовуються в мові програмування Verilog HDL	54
5.4 Реалізація комбінаційної логіки	58

5.5 Логічні й арифметичні вирази	59
5.6 Логіка з трьома станами	66
5.7 Приклади типових комбінаційних блоків	67
5.8 Висновки	71
6 СИНТЕЗ ОКРЕМИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВУЗЛІВ ВТОРИННОГО РАДІОЛОКАТОРА	73
6.1 Норми на параметри коду запиту	73
6.2 Норми на параметри коду відповіді	74
6.3 Порядок формування та використання номерів рейсів в авіакомпаніях СНГ при УВД і забезпечення польотів	77
6.4 Кодування інформації в системах вторинної радіолокації	78
6.5 Використання номера рейса	80
6.6 Структурна схема формувача коду рейса на ПЛІС	84
6.7 Висновки	93
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	95
7.1 Вступ	95
7.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	96
7.3 Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для зниження впливу шкідливих виробничих факторів.	98
7.4 Пожежо- та вибухонебезпека	102
8 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	106
8.1 Вступ	106
8.2 Проблеми використання і охорони мінеральних ресурсів в Україні	107
8.3 Вплив радіолокаційних станцій на навколишнє середовище	110
8.4 Проблема утилізації відходів виробництва	112
8.5 Висновок до розділу	115
ВИСНОВКИ	116
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	123

## ВСТУП

Сучасні системи CNS АТС широко використовують вторинні оглядові радіолокатори (ВОРЛ). Так за вимогами ІСАО, зокрема, Україна повинна забезпечувати двукратне покриття зон виявлення ВОРЛ в зоні її відповідальності. Тому розробка і впровадження нових ВОРЛ є актуальною. У даній роботі пропонується розроблений на базі цифрової техніки шифратор відповідних сигналів ВОРЛ RBS із використанням ПЛІС «Altera». Цей пристрій може бути використано як елемент перспективної ВОРЛ так і лабораторний макет при вивченні курсу радіолокації. Самі ж ПЛІС широко використовується для побудови різних за складністю і можливостям цифрових пристроїв. Розширення сфери застосування ПЛІС визначається зростаючим попитом на пристрої з швидкою перебудовою виконуваних функцій, скороченням проектно-технологічного циклу нових або модифікованих виробів, наявністю режимів зміни внутрішньої структури в реальному часі, підвищенням швидкодії, зниженням споживаної потужності, розробкою оптимізованих поєднань з мікропроцесорами і сигнальними процесорами (DSP), а також зниженням цін на ці пристрої. За принципом формування необхідної структури цільового цифрового пристрою ПЛІС відносять до двох груп. CPLD (Complex Programmable Logic Device) — комплексні програмовані логічні пристрої, енергонезалежні і з деяким обмеженням допустимого числа перезапису вмісту. FPGA (Field Programmable Gate Array) — програмовані користувачем вентиляльні матриці, що не мають обмежень по числу перезаписів. У цифровій обробці сигналів (ЦОС) ПЛІС в порівнянні з DSP мають такі переваги, як можливість організації паралельної обробки даних, масштабування смуги пропускання, розширюваність пристрою. Xilinx, Altera, Actel, Atmel, Lattice Semiconductor, Cypress Semiconductor та інші компанії активно створюють ПЛІС, що відрізняються наявністю нових функцій і сприяють подальшому розширенню сфери їх застосування. За результатами діяльності у 2003 році компанії Xilinx, Altera і Actel стали основними розробниками ідеології застосування ПЛІС.



# 1 ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЇ В ЦИВІЛЬНІЙ АВІАЦІЇ

## 1.1 Керування повітряним рухом і радіолокація

Керування повітряним рухом — це комплекс заходів щодо планування, координування, безпосереднього керування рухом ПС і контролю за дотриманням встановленого режиму польотів. Радіоелектронні засоби є технічною основою КПП. Поряд з вирішенням завдань радіонавігації одним з основних застосувань радіоелектроніки в авіації є забезпечення зв'язку між авіадиспетчером і пілотом. Здавна радіозв'язок використовувався для виконання завдань КПП, включаючи попередження зіткнень, поширення метеорологічної інформації й передавання оперативних повідомлень. Авіадиспетчер міг установити радіоконтакт з бортом і з'ясувати його поточне місце перебування. Необхідне просторове рознесення літаків у цьому випадку залежить від точності знання екіпажем свого місцезнаходження, що визначається за допомогою бортових навігаційних систем. Тепер такий архаїчний спосіб нагляду за літаками можна було б назвати неавтоматичним залежним спостереженням за аналогією з сучасним автоматичним залежним спостереженням. Визначення диспетчером місце перебування літака зазначеним способом не вирізнялося високою точністю. Крім того, завжди існувала ймовірність появи в зоні відповідальності диспетчера літака, який не перебуває в контакті з диспетчером. Тому в такій системі КПП траєкторії літаків значно розносилися в просторі. Упровадження в процес КПП якогось засобу визначення положення літака, що не потребує участі екіпажу, і не ґрунтується на голосовому зв'язку, значно поліпшило б систему КПП. Засобом, 356 придатним для цього, є радіолокація. Але існує проблема, яка не дозволяє повною мірою здійснювати спостереження за літаками, застосувавши класичну (первинну) оглядову радіолокацію. Для визначення місцезнаходження ПС у тривимірному просторі, крім двох координат (дальності й азимуту) необхідна також висота літака. Наземні РЛС для визначення висоти літаків ефективні тільки на малій дальності. Інша проблема полягає в тому, що за допомогою первинної радіолокації неможливо забезпечити необхідну ідентифікацію ПС. Автоматичний метод ідентифікації й відповідна апаратура були розроблені ще в період Другої світової війни для впізнавання літаків «свій–чужий». Цей метод поклав початок вторинній радіолокації, що лежить в основі системи спостереження сучасної системи КПП. Поряд з терміном КПП будемо користуватися англійським виразом Air Traffic Control і

відповідною аббревіатурою — АТС. У системі АТС, яка поступово удосконалюючись, функціонує вже понад 50 років, відбуваються істотні зміни. Відповідно до назви системи АТС польотами керують із землі. Командир ПС може запросити маршрут, але спочатку маршрут повинен бути «звільнений» системою АТС і лише після цього пілот може одержати дозвіл із землі. В останні роки система АТС поступово дедалі більше дозволяє літакам відхилятися від офіційних маршрутів (published airways). Такий тип польотів відомий як зональна навігація (area navigation), або RNAV. Але досі існуюча система АТС заснована на фіксованих маршрутах, коли літаки змінюють курс лише у певних пунктах або на перехрестях, що потребує додаткових витрат палива й часу на різкі зміни маршрутів та прольоти через вузькі проходи. Вторинна радіолокація є основним засобом спостереження за літаками в сучасній системі АТС, причому вона буде потрібною і після модернізації системи КПП з поступовим переходом до нової системи АТМ.

## **1.2 Класифікація радіолокаційних систем**

Радіолокація — це область радіоелектроніки, яка вирішує завдання радіолокаційного спостереження різних об'єктів, їх виявлення, вимірювання координат і параметрів руху, а також виявлення деяких структурних або фізичних властивостей шляхом використання відбитих об'єктами радіохвиль або їх власного радіовипромінювання (слово локація походить від латинського «locatio» — розміщення, розташування).

Інформація, що отримується в процесі радіолокаційного спостереження, називається радіолокаційною. Пристрої радіолокаційного спостереження називаються радіолокаційними станціями (РЛС) або радіолокаторами. Самі ж об'єкти радіолокаційного спостереження іменуються радіолокаційним цілями або просто цілями. При використанні відбитих радіохвиль радіолокаційними цілями є будь-які неоднорідності електричних параметрів середовища (діелектричної та магнітної проникності, провідності), в якій поширюється первинна радіохвиля. До них відносяться літальні апарати (літаки, вертольоти, метеорологічні зонди та ін.), Гідрометеоутворення (дощ, сніг, град, хмари і т. д.), Річкові та морські судна, наземні об'єкти (будівлі, автомобілі, літаки та ін.), всілякі військові об'єкти і т. п.

Джерелом радіолокаційної інформації є радіолокаційний сигнал. Залежно від способів його отримання розрізняють такі види радіолокаційного спостереження:

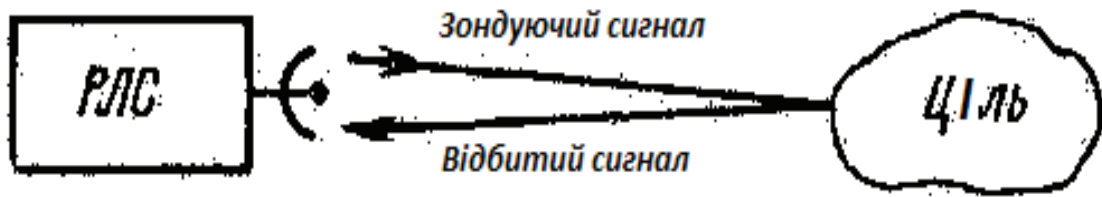


Рис. 1.1 — Радіолокація з пасивною відповіддю

*Радіолокація з пасивною відповіддю (Рис.1.1), заснована на тому, що випромінює РЛС коливання (зондуєчий сигнал) — відбивається від цілі і потрапляє в приймач РЛС у вигляді відбитого сигналу або, як його ще називають, ехо-сигналу.*

Такий вид спостереження називають також активною радіолокацією з пасивною відповіддю, вона є найбільш поширеною. Важливою вимогою до цілей у цьому випадку є відмінність їх властивостей, інформацію про які містить відбитий сигнал, від властивостей навколишнього середовища (радіолокаційний контраст).

*Радіолокація з активною відповіддю (рис.1.2), іменована активною радіолокацією з активною відповіддю. Просто активна радіолокація або вторинна радіолокація, характеризується тим, що відповідний сигнал є не відбитим, а перевипроміненим за допомогою спеціального відповідача — ретранслятора. При цьому помітно підвищується дальність радіолокаційного спостереження, що дозволяє використовувати даний вид радіолокації, наприклад, для спостереження штучних супутників Землі. Він застосовується для визначення державної належності літаків (за допомогою спеціальних кодів).*

У цивільній авіації метод активної відповіді використовується дуже широко, оскільки в відповідний сигнал може бути внесено багато додаткової корисної інформації (висота польоту, обумовлена бортовим висотоміром більш точно, ніж наземними РЛС, відомості про кількість пального, номер літака і т. д.), необхідної для контролю повітряного руху (КПР), особливо при використанні автоматизованих систем (АС КПР).

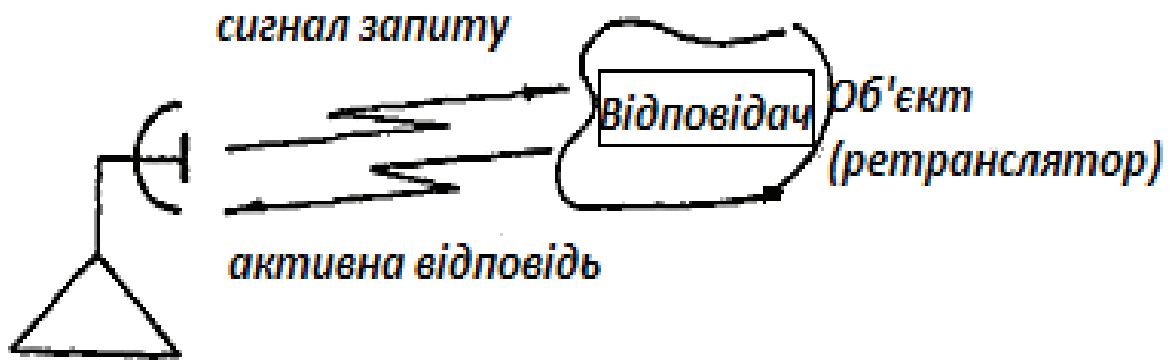


Рис. 1.2 — Радіолокація з активною відповіддю

*Пасивна радіолокація* (Рис.1.3) заснована на прийомі власного радіовипромінювання цілей. Якщо зондуючий сигнал у двох попередніх випадках може бути використаний як опорний, що забезпечує принципову можливість виміру дальності і швидкості, то в даному випадку така можливість відсутня. За допомогою теплового радіовипромінювання в міліметровому, сантиметровому, дециметровому діапазонах можна вирішувати такі народногосподарські завдання, як спостереження за станом посівів, визначення вологості ґрунту, виявлення лісових і підземних пожеж, а також деякі навігаційні завдання (наприклад, вивірювання шляхової швидкості). Відомі також військові застосування, пов'язані з виявленням штучних об'єктів. Крім того, різновидом пасивної радіолокації являється спостереження за грозами (у довгохвильовому діапазоні).

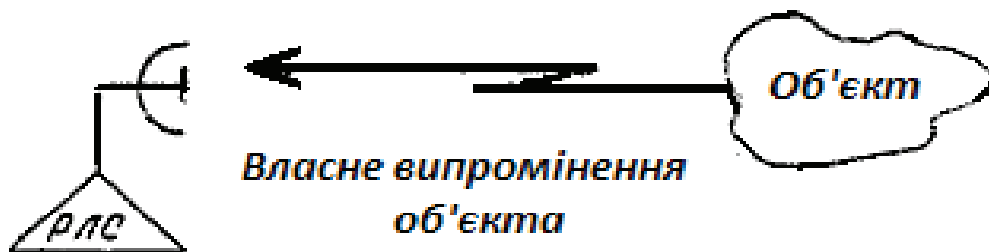


Рисунок 1.3 — Пасивна радіолокація

Виконання регулярних і безпечних польотів в умовах зростаючої інтенсивності повітряного руху вимагає застосування великої кількості радіотехнічних засобів, зокрема радіолокаційних. Роль радіолокації зростає ще більше у зв'язку з переходом до автоматизації літаководіння та управління повітряним рухом.

Основним джерелом інформації про повітряну обстановку в системах УПР

є імпульсні РЛС. При цьому для КПП по трасах застосовуються РЛС з дальністю 350 ... 450 км, а в районі аеропортів з дальністю 100 ... 200 км. Так як використовувані РЛС, як правило, двокоординатні (дальність, азимут), то третя координата транслюється по «вторинному» каналу (РЛС з активною відповіддю). Система, що включає РЛС з пасивним і активним відповідями і пристрій трансляції радіолокаційної інформації по радіоканалу або по кабелю на пульт управління, іменується радіолокаційним комплексом.

Вводяться автоматизовані системи — АС КПП, в котрих процеси збору, обробки і відображення інформації, а також аналізу повітряної обстановки реалізуються за допомогою ЕОМ. Рішення про необхідність зміни параметрів руху окремих ЛА приймається диспетчером, який може безпосередньо взаємодіяти з комплексом обчислювальних системи.

Навігація літаків по трасі в значній мірі забезпечується тими ж РЛС, які застосовуються в системах КПП. Вони служать як для контролю дотримання заданої траси, так і для визначення місця розташування в процесі польоту.

Для виконання посадки і її автоматизації поряд з радіомаяковими системами широко використовуються РЛС посадки, що забезпечують стеження за ухиленням літака від курсу і глісади планування. Посадочні РЛС характеризуються дальністю дії лише в кілька десятків кілометрів, але вони мають високу точність.

Ряд сучасних аеропортів обладнані РЛС огляду льотного поля, які працюють в міліметровому діапазоні і володіють дуже високою роздільною здатністю, достатньою для розпізнавання при будь-якій погоді літаків, окремих автомашин і т. д. Дальність їх дії складає декілька кілометрів.

Великого значення набувають метеорологічні РЛС. Вони застосовуються для виявлення хмар і опадів, можуть бути використані для штормового попередження. Крім того, з їх допомогою вимірюють метеорологічні параметри.

У цивільній авіації використовують ряд бортових радіолокаційних пристроїв. До них відноситься бортова РЛС для виявлення небезпечних метеоутворень і перешкод. Зазвичай вона ж використовується для огляду землі з метою автономної навігації за характерними наземним радіолокаційними орієнтирами. Для забезпечення дії згаданого вище активного каналу на борту є спеціальні відповідачі. Радіолокаційні принципи використовуються і в таких навігаційних приладах, як бортовий радіовисотомір і доплерівський (використовує ефект Допплера) вимірювач шляхової швидкості і кута зносу.

### **1.3 Завдання, які вирішуються системами вторинної радіолокації**

Такими завданнями в загальному випадку є:

- радіолокація (виявлення і визначення координат) об'єктів різного базування — наземних, надводних, повітряних, космічних;
- навігація (визначення свого місця розташування шляхом визначення координат відомого маяка-відповідача);
- охорона, контроль доступу до режимних об'єктів;
- попередження зіткнень транспорту;
- пошуково-рятувальні роботи за допомогою аварійних маяків;
- інші завдання, перелік яких постійно розширюється.

Поряд з радіолокацією системи ВРЛ служать для передачі різноманітної додаткової інформації, що забезпечує вирішення багатьох завдань в інтересах Збройних Сил, органів Організації повітряного руху:

- визначення державної належності об'єктів (радіолокаційне державне упізнання);
- отримання за запитом (або без запиту в деяких форматах режиму 8) інформації про індивідуальні ознаки і стан об'єкта з відповідачем (координати, вектор швидкості, висота польоту, бортовий номер, наявність палива, повідомлення типу «перебування на землі», «шасі випущено» та ін.);
- передачу на борт повітряного судна навігаційної, метео та іншої довідкової інформації, отримання інформації з борту наземними службами;
- передача на борт винищувача команд управління, передача доповідей і повідомлень від винищувача.

### **1.4 Загальні питання обслуговування повітряного руху і концепція «Free Flight»**

Є багато аргументів на користь думки, що коли літаки просто літають по бажаних для них траєкторіях, то через їх випадкове розташування і різні місця призначення у більшості випадків автоматично забезпечується також безпечне просторове рознесення траєкторій. Тільки у випадку, коли виникає реальна небезпека зближення літаків, може виявитися необхідним втручання диспетчера. Якщо це дійсно так, то на стадії польоту по маршруту достатньо лише контролювати літаки, а не керувати ними. Це дозволило б вчасно виявити можливу втрату безпечного рознесення, і тільки літаки, залучені в небезпечну щодо зіткнення ситуацію,

були б проінформовані про необхідність зміни курсу або висоти. Більшість літаків могли б вільно рухатися безпосередньо до місця їх призначення по довільних маршрутах на будь-яких висотах. Така концепція припускає швидше організацію, координацію й керування (Management) повітряного руху, ніж тверде керування (Control). Тому нова система отримала назву Air Traffic Management (ATM). Відповідна програма, прийнята ІКАО, має назву «Free Flight» (вільний політ) і перебуває нині у стадії реалізації. Поступово система АТС буде замінена системою ATM усюди. Тільки в зонах аеропортів збережеться досить жорстке керування типу АТС у межах системи ATM. Таким чином, призначенням ATM є безпечний, ефективний, і швидкий рух літаків у повітряному просторі. Система ATM охоплює дуже широке коло завдань і включає два основні процеси: керування повітряним рухом (Air Traffic Control); керування потоком руху (Traffic Flow Management — TFM). У такому контексті керування повітряним рухом АТС — це сукупність тактичних дій із забезпечення безпечного руху ПС через розведення їх у процесі польоту. Однією з функцій АТС, зокрема, є запобігання зіткненням літаків, а також зіткненням літаків із землею поверхнею і перешкодами. Керування потоком руху (TFM) — це процес розміщення потоків повітряного руху відповідно до ресурсів (наприклад, з урахуванням можливої кількості прибуттів в аеропорт з обмеженою пропускною здатністю). Основними елементами процесу ATM є: – повітряний простір; – засоби аеронавігаційного обслуговування, устаткування, і послуги; – аеропорти та майданчика для приземлення; – аеронавігаційні карти, інформація і послуги; – правила, інструкції і процедури; 358 – технічна інформація; – робоча сила, включаючи льотні екіпажі, авіадиспетчерів, менеджерів руху, авіаційних інженерів і техніків. Комп'ютерні моделі довели працездатність концепції «Free Flight». Пілоти можуть приймати польотний план і вдаватися до змін на маршруті, не контактуючи з диспетчером ATM. Така свобода дозволяє екіпажу вибирати найкоротший, найбільш ощадливий або комфортабельний рівень польоту на свій розсуд. Концепція «Free Flight» може бути ефективною тільки в тому випадку, якщо літак обладнано системами точного визначення місцезнаходження, попередження й запобігання зіткненням та обміну даними. Метод вторинної радіолокації відіграє ключову роль у таких системах. Одним із важливих елементів концепції «Free Flight» є автоматичне залежне спостереження — Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B), що є методом спостереження, який використовує інформацію про місцезнаходження літака, визначену за допомогою GPS, і передає

її на землю. У розділі 9, де йдеться про ADS-B, буде показано, що в ADS-B задіяні канали вторинної радіолокації. Хоча більша частина повітряного трафіку досі перебуває під керівництвом системи АТС, термін АТМ, що належить до систем наступного покоління, буде також застосовуватися в подальшому викладі. Системи спостереження є складовою частиною засобів аеронавігаційного обслуговування на рівні як АТС, так і АТМ. У розділі 7 описуються елементи вторинних систем радіолокаційного спостереження і зокрема, бортове обладнання таких систем.

## 1.5 Висновки

В даному розділі розглянуто наступні питання:

1. Керування повітряним рухом та місце радіолокації в даному процесі. Керування повітряним рухом — це комплекс заходів щодо планування, координування, безпосереднього керування рухом ПС і контролю за дотриманням установленого режиму польотів. Радіоелектронні засоби є технічною основою КПР. Поряд з вирішенням завдань радіонавігації одним з основних застосувань радіоелектроніки в авіації є забезпечення зв'язку між авіадиспетчером і пілотом. Здавна радіозв'язок використовувався для виконання завдань КПР, включаючи попередження зіткнень, поширення метеорологічної інформації й передавання оперативних повідомлень.
2. Класифікація радіолокаційних систем. Розрізняють такі види радіолокаційного спостереження:
  - Радіолокація з пасивною відповіддю (Рис.1.1), заснована на тому, що випромінююче РЛС коливання (зондуючий сигнал) — відбивається від цілі і потрапляє в приймач РЛС у вигляді відбитого сигналу.
  - Радіолокація з активною відповіддю (рис.1.2), іменована активною радіолокацією з активною відповіддю. Просто активна радіолокація або вторинна радіолокація, характеризується тим, що відповідний сигнал є не відбитим, а перевипроміненим за допомогою спеціального відповідача — ретранслятора.
  - Пасивна радіолокація (Рис.1.3) заснована на прийомі власного радіовипромінювання цілей.
3. Завдання, які вирішуються системами вторинної радіолокації  
Такими завданнями в загальному випадку є:
  - радіолокація (виявлення і визначення координат) об'єктів різного базування — наземних, надводних, повітряних, космічних;



- навігація (визначення свого місця розташування шляхом визначення координат відомого маяка-відповідача);
- охорона, контроль доступу до режимних об'єктів;
- попередження зіткнень транспорту;
- пошуково-рятувальні роботи за допомогою аварійних маяків;
- інші завдання, перелік яких постійно розширюється.

### 3. Загальні питання обслуговування повітряного руху і концепція «Free Flight»

Є багато аргументів на користь думки, що коли літаки просто літають по бажаних для них траєкторіях, то через їх випадкове розташування і різні місця призначення у більшості випадків автоматично забезпечується також безпечне просторове рознесення траєкторій. Тільки у випадку, коли виникає реальна небезпека зближення літаків, може виявитися необхідним втручання диспетчера. Якщо це дійсно так, то на стадії польоту по маршруту достатньо лише контролювати літаки, а не керувати ними.

## 2 СИСТЕМИ ВТОРИННОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ

### 2.1 Загальні відомості

Системи вторинної радіолокації (СВРЛ) входять до складу апаратури керування повітряним рухом (КПР). До них відноситься комплекс технічних засобів для визначення координат повітряного судна (ПС), їх індивідуального розпізнавання і автоматичного отримання деяких інших даних про стан ВС.

Система містить наземний комплекс технічних засобів — вторинний радіолокатор (ВРЛ) і бортовий відповідач, призначений для прийому сигналів запиту, декодування їх даних, формування відповідних сигналів на основі інформації бортових датчиків і випромінювання сигналів відповіді.

На основі даних СВРЛ служба КПР отримує і обробляє інформацію про ПС, які перебувають в контрольованій області повітряного простору, визначає координати ПС, обладнаних відповідачами, висоту польоту, запас палива, оперативні дані в разі нештатних ситуацій.

Вторинний оглядовий радіолокатор (ВОРЛ) виконує функцію запитувача і формує кодований сигнал, що містить тип запитуваної інформації. Сформований сигнал випромінюється антеною з вузькою діаграмою спрямованості в горизонтальній площині. Відповідний сигнал, що надходить на ВОРЛ, дозволяє визначити азимут і похилу дальність до ПС, а декодування додаткової інформації — висоту польоту, бортовий номер, запас палива і інші дані. Трасові ВОРЛ забезпечують дальність дії 400 км, а аеродромні -100 км.

ВОРЛ є радіолокатором з активним відповіддю, що дозволяє збільшити дальність дії при даній потужності, що випромінюється передавачем, і даної чутливості приймача.

Основною частиною наземної апаратури ВОРЛ є вторинний радіолокатор, узагальнена структурна схема якого наведена на рис. 2.1

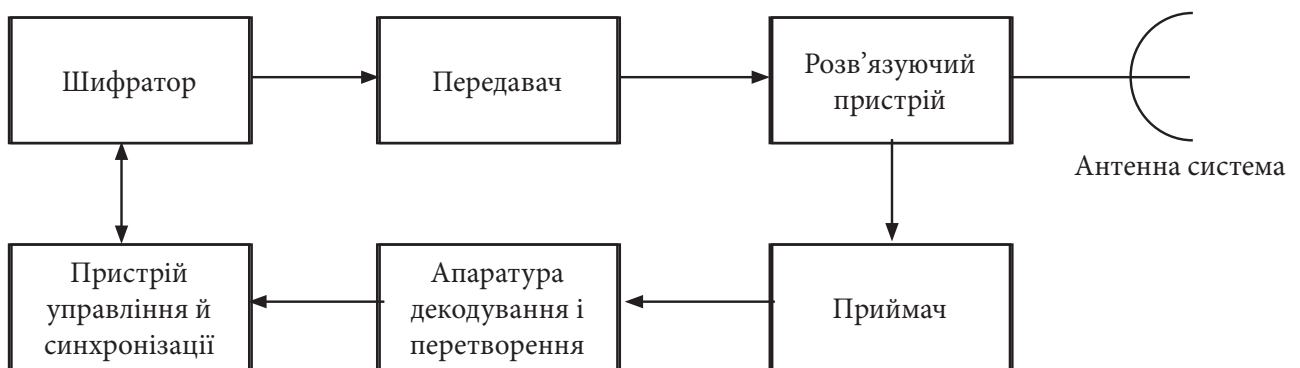


Рис. 2.1 — Загальна структурна схема ВОРЛ

Пристрій управління і синхронізації управляється від командно-диспетчерського пункту таким чином, щоб запуск ВОРЛ відбувався синхронізуючими імпульсами первинної РЛС з випередженням на 93,5 мкс, з огляду на затримку сигналу при його кодуванні і декодуванні. Кодування проводиться в шифраторі, що формує послідовність відеоімпульсів з заданими часовими інтервалами між ними.

Отримані імпульси подаються на модулятор передавача, який формує радіоімпульси, що надходять через пристрій, котрий розв'язує приймальну і передавальну частини ланцюга, в антенну систему. Застосування відповідача на борту ПС дозволяє зменшити потужність передавача ВРЛ в багато разів у порівнянні з потужністю ПОРЛ аналогічної дальності дії.

Сигнал відповіді з борта ПС приймається наземної антенною системою і через розв'язуючий пристрій надходить в приймач, де проводиться його фільтрація, підсилення, перетворення і детектування. З виходу приймача відеоімпульси надходять на апаратуру декодування і перетворення інформації. Перетворений цифровий код, що містить інформацію про ПС, транслюється на апаратуру первинної обробки інформації.

Дальність до ПС визначається за часом затримки між випромінюваним ВОРЛ сигналом і отриманим сигналом відповідача, а азимут — кутовим положенням головного пелюстка діаграми спрямованості (ДС) приймально-передальної антени системи в момент прийому сигналу відповіді.

## **2.2 Різновиди вторинних радіолокаційних систем**

Системи ВРЛ вирізняються видом, інформативністю коду й значенням несної частоти сигналів запиту й відповіді. Наприклад, у СРСР було розроблено систему, що багато років діяла на території країни і у країнах-сателітах. Ця система передбачає можливість запиту на одній з трьох частот: 835; 837,5; 840 МГц і відповіді на частотах 730; 740; 750 МГц. У повітряному просторі інших країн ця система не використовувалася. Тому у міжнародних рейсах аерофлоту доводилося додатково використовувати систему Air Traffic Control Radar Beacon System (АТСRBS), прийняту ІКАО, що працює в діапазоні 1030 МГц (запит) і 1090 МГц (відповідь). Обидві системи ґрунтуються на загальних принципах функціонування, але вони не сумісні не тільки за діапазонами несних частот, але й за системами кодування. Тому ряд ЛВ, що випускалися в СРСР, мали передавачі з перебудовою

частоти під час перемикання режимів, складну антенну систему і два шифратори для задоволення вимог обох систем. Зовсім імовірно, що радянська система ВРЛ КІР була нічим не гірша від системи АТСРБС. Більше того, вона вирізнялася вищою завадостійкістю і інформативною системою кодування, зокрема, передбачала можливість передавання даних про запас палива на борту і вектор шляхової швидкості. Однак ці дві системи були не сумісні, а сумісність є необхідною умовою співробітництва. Міжнародні системи ВРЛ, розроблені, принаймні, пів віку назад, відповідають системі АТСРБС (в англійській традиції ця абревіатура зазвичай вимовляється «at-crabs»). Бортове обладнання таких систем називають АТС transponder, а також відповідачем режиму А/С. Такі ЛВ дотепер застосовують багато авіакомпаній. У системі АТСРБС на запит ВРЛ відповідають усі ЛВ, що перебувають у межах дії ДН ВРЛ (тобто приблизно на одному азимуті). При цьому можливі ситуації, коли ЛВ перебуває в зоні дії декількох ВРЛ, що призводить до його перевантаження і, отже, до зменшення ймовірності відповіді на запитальний сигнал основного для певної зони ВРЛ. Більш ефективною є дискретно-адресна система ВРЛ — Discrete-Address Beacon System (DABS). У системі DABS кожному ПС привласнений виділений для нього унікальний адресний код і забезпечується режим S (від англ. Select), у якому на запит ВРЛ відповідає тільки той ЛВ, якому відповідає надісланий код запиту. Наземні станції DABS забезпечують опитування ПС, обладнаних звичайними ЛВ, а відповідач DABS відповідає запитувачам попередньої міжнародної системи АТСРБС. Під час розроблення DABS, крім усунення ряду недоліків неселективних систем ВРЛ (далі будуть розглянуті детальніше), передбачається моноімпульсний метод визначення азимуту, що підвищує точність кутометрії. Сумісність нової селективної (S) системи із системою АТСРБС була однією з основних умов розроблення DABS.

Максимальна дальність дії РЛС залежить від ряду параметрів і характеристик як антенної системи станції, так і генератора та приймача системи. У загальному випадку без урахування втрат потужності в атмосфері, перешкод і шумів дальність дії системи можна визначити наступним чином:

$$D_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_n D_a S_a \sigma}{(4\pi)^2 P_{n.min}}} \quad (2.1)$$

де:

$P_n$  — потужність генератора;

$D_a$  — коефіцієнт спрямованої дії антени;

$S_a$  — ефективна площа антени

$\sigma$  — ефективна площа розсіювання цілі

$P_{n.min}$  — мінімальна чутливість приймача

При наявності шумів і перешкод дальність дії РЛС зменшується.

### 2.3 Функціонування селективної системи вторинної радіолокації

Загальні вимоги до селективних систем зумовлюють їх властивості, які в сукупності становлять основну концепцію функціонування системи. Ключові властивості ВРЛ із режимом S такі:

- індивідуальна адресація запитів;
- можливість використання для отримання інформації лише однієї відповіді на індивідуальний запит незалежно від кількості ЛВ, що перебувають у зоні дії запитувача;
- сумісність з існуючими неселективними системами вторинної радіолокації;
- можливість еволюційного впровадження.

Індивідуальна адресація запитів забезпечується тим, що в режимі S кожне ПС має свою адресу і може запитуватися в індивідуальному порядку. У неселективних системах ВРЛ адресація здійснюється променем антени: всі ПС, що потрапляють у простір, що перекривається основною пелюсткою антени, а також бічними пелюстками за недостатньо ефективної роботи систем придушення бічних пелюсток, відповідають на запити наземного запитувача. Відповісти також можуть ті ПС, які не потрапляють у простір променя антени, але які потрапляють у зону дії перевідбитих хвиль. Застосування адресного запиту знімає більшість проблем, пов'язаних з появою синхронних і несинхронних завад у традиційних системах ВРЛ.

Адреса режиму S — це індивідуальна кодова комбінація, що складається з 24 розрядів і привласнюється кожному ПС на міжнародній основі відповідно до «Глобальної системи розподілу, присвоєння й застосування адрес повітряних суден», розробленої ІКАО. Усього існує  $2^{24} = 16\,777\,216$  адрес. Кожній державі ІКАО виділяє певний блок адрес різної ємності. У середині держави присвоєнням адрес займається орган реєстрації ПС. Запити бортових відповідачів селективними ВРЛ виробляються відповідно до переліку (списку) ПС, що обслуговуються.

Цей перелік створюється на радіолокаційній позиції або в центрі КПР. Запитувачі режиму S мають можливість виявити і визначити адресу нового ПС, як тільки воно з'явиться в зоні видимості запитувача, увести його в перелік ПС, що обслуговуються, і далі здійснювати з ним адресну роботу.

Виявлення нових ПС забезпечується за допомогою безадресних запитів загального виклику, які запитувач періодично випромінює з низькою частотою повторення. Відповідачі, що працюють у режимі S, у відповідь на запити загального виклику повідомляють свою адресу, яка автоматично вводиться в перелік адрес, що обслуговуються ПС. Є можливість блокувати роботу тих відповідачів, які вже повідомили свою адресу для того, щоб не витратити час на запит уже зареєстрованих ПС.

Після кожного загального виклику ведеться адресна робота з усіма виявленими ПС з обміном інформацією по лініях зв'язку «земля — борт» і «борт — земля». Система ВРЛ режиму S, а саме її запитувач, передбачає можливість отримання необхідної інформації з однієї відповіді. Це дозволяє істотно поліпшити азимутальну роздільну здатність, а також точність визначення координат ПС і радикально знизити інтенсивність внутрісистемних завад. Можливість отримання необхідної інформації з використанням тільки однієї відповіді реалізується шляхом застосування моноімпульсного методу визначення азимутального положення цілі. Це дозволяє не тільки істотно підвищити точність і роздільну здатність системи, але й зменшити частоту запитів, що в кілька разів знижує ймовірність появи внутрісистемних завад.

Запитувач вторинної РЛС виконує також ряд інших видів оброблення сигналу, наприклад, селекцію рухомих цілей для усунення відбиттів від стабільних (нерухомих) об'єктів типу хмар або будинків.

Щоб позбавитися паразитних відбиттів, характерних для вторинної РЛС (fruit), частоти повторення різних запитувачів навмисно робляться трохи відмінними, тому два наземні запитувачі ніколи не можуть бути синхронізовані. Ця особливість подібна тому, що зроблено в DME, де запити випадкові за характером. Вторинні радіолокатори мають цілком визначене місце розташування, тому кожному з них може бути призначена певна частота повторення запитальних сигналів, тоді як бортовий запитувач DME може з'явитися де завгодно, і для нього більше підходить випадкова послідовність запиту.

Усунення завади типу fruit є завданням пристрою «дефрутера» (defruiter), що відокремлює корисну відповідь від завади. Відомо, що дальність дії відповідь дача не може набагато змінитися від одного запиту до наступного. Є часове вікно,

у яке повинна потрапити відповідь від певного відповідача. Випадковий сигнал fruit може з'явитися в деякому вікні часу, але дуже мало ймовірно, що це повториться в результаті наступного запиту. Тому процедура defruiting ґрунтується на повторенні процесу запиту вторинним радіолокатором і простежуванні ідентичності результату. На відміну від DME таке простежування має виконуватися, не для одного наземного приймача — відповідача, а для великої кількості літаків.

Сумісність селективних (S) і неселективних (ATCRBS) систем забезпечується такими умовами:

- наземне й бортове устаткування режиму S використовує ті ж несні частоти запиту і відповіді, а також поляризацію радіохвиль, як і устаткування ATCRBS;
- наземні запитувачі режиму S можуть генерувати запитувальні коди і обробляти відповідні сигнали режимів ATCRBS;
- наземні запитувачі режиму S мають можливість роздільно виявляти ПС, оснащені відповідачами, що працюють у режимах ATCRBS і S;
- відповідачі, що працюють у режимі S, мають можливість відповідати на запити режимів ATCRBS кодами, які відповідають відповідним кодам устаткування, що працює в режимах ATCRBS;
- відповідачі, що працюють тільки в режимах ATCRBS, не реагують на селективні запити, звернені до відповідачів, що працюють у режимі S.

Загальний виклик у режимах ATCRBS (A/C) і S призначений для отримання відповідей від бортових відповідачів, що працюють у режимах ATCRBS (A/C), з метою забезпечення функції спостереження за повітряною ситуацією для літаків, обладнаних міжнародними відповідачами неселективної вторинної радіолокаційної системи ATCRBS. Одночасно виявляються всі відповідачі, що працюють у селективному режимі. На запит загального виклику відповідачі, що працюють у режимі S, зазвичай повідомляють на землю тільки свою адресу і деякі додаткові дані про потенційні інформаційні можливості відповідача. Якщо виділено адресу певного ПС, подальшу роботу з ним ведуть тільки в режимі S з використанням протоколу блокування загального виклику.

Загальний виклик у режимах ATCRBS (A/C) призначений для одержання відповідей тільки від ПС, оснащених відповідачами, що працюють у режимах ATCRBS. Селективні бортові відповідачі на ці запити не реагують. Мовчання адресних запитувачів у цьому випадку важливе для зменшення ймовірності поя-

ви синхронних завад у процесі функціонування систем БСПС. Загальний виклик тільки в режимі S виявляє всі ПС, обладнані селективними відповідачами, і визначає їхні індивідуальні адреси. Адреса запиту в цьому режимі складається з 24 одиниць і на нього реагують усі селективні відповідачі незалежно від привласненої їм індивідуальної адреси. Адресація запитувального сигналу в цьому випадку виробляється за рахунок застосування гостронапрявленої антени. Запитані в такий спосіб відповідачі передають на землю свої 24 розрядні індивідуальні адреси і допоміжну інформацію про потенційні можливості відповідача, а також перевірені символи, що дозволяють підтвердити надійність прийнятої інформації. Відповідачі, що працюють у режимах АТСRBS, на ці запити не відповідають. Усенаправлений запит (широкомовний запит) використовується для передавання інформації загального призначення всім ПС, що працюють в режимі S. У такому широкомовному запиті використовується адреса, що складається з 24 двійкових одиниць, а не адреса окремого ПС. Повідомлення одночасно передається всім ПС, що потрапляють у промінь гостронапрявленої антени.

Від ПС, що отримали такий запит, не потрібно відповіді, оскільки при цьому може відбутися накладення відповідей близько розташованих ПС. Отже, відповідей немає, тобто запитувач не отримує повідомлень, що підтверджують вірогідність прийнятої відповідачами інформації, і не може повторити цей запит для тих ПС, яким не вдалося одержати передані повідомлення. Тому в разі широкомовного запиту передається тільки така інформація, що має другорядне значення або яка повторюється через короткі проміжки часу.

На адресний запит відповідає тільки один бортовий відповідач, якому цей запит призначений. Обмін інформацією здійснюється блоками по 56 або 112 розрядів (бітів), які є стандартним або подовженим повідомленнями відповідно. У разі потреби система здатна передавати ще довші повідомлення, утворені послідовним з'єднанням декількох подовжених повідомлень.

## **2.4 Завади в системах вторинної радіолокації**

Завади, пов'язані з відбиттям від земної поверхні, місцевих предметів, гідрометеоутворень носять по відношенню до ПОРЛ специфічний характер. При цьому виникають специфічні завади, обумовлені використанням принципом «Запит — відповідь», при якому на запит відповідають всі ПС, які прийняли даний сигнал (для систем КПП і RBS).



В результаті виникають синхронні і асинхронні завади, що перенавантажують канал зв'язку і порушують роботу самої системи. Особливістю ВОРЛ є також перешкоди, обумовлені передачею і прийомом сигналів по бічних пелюстках ДС антени ВРЛ.

Синхронні завади відбуваються, коли два або кілька ПС мають близькі значення азимута і дальності. Відповідні сигнали, що передаються кожним з них на однаковій частоті, накладаються, що знижує ефективність ВОРЛ в умовах інтенсивного повітряного руху.

Для зменшення синхронних завад в відповідачеві є дільник частоти запуску, який на порядок зменшує частоту сигналів відповіді у порівнянні з частотою повторення сигналів запиту. При цьому коди відповіді близько розташованих ПС виявляються статистично розподіленими в часі, що зменшує ймовірність їх взаємного накладення.

Асинхронні завади проявляються при прийомі сигналів, що випромінюються даним ПС у відповідь на запити декількох запитувачів, що призводить до перевантаження і зменшення ймовірності отримання відповіді на сигнал запиту основного ВОРЛ даної зони, який найбільше потребує інформації про даний ПС.

Для усунення перевантаження відповідача в його апаратурі використовується обмежувач завантаження, що закриває канал відповіді, якщо число запитів перевищить заданий рівень.

Найефективнішим засобом боротьби з синхронними і асинхронними завадами є застосування дискретно-адресних систем.

Завади, зумовлені випромінюванням і прийомом сигналів по бічних пелюстках ДС антени ВОРЛ, призводять до спотворення кутомірної інформації і створення помилкових відміток про ПС на індикаторі кругового огляду (ІКО). Ця серйозна проблема вирішується спеціальними методами придушення помилкових сигналів, заснованими на врахуванні форми ДС антени, застосуванні додаткової приймально-випромінюючої антени з круговою ДС в горизонтальній площині.

Дослідимо особливості випромінювання і прийому сигналів по бічних пелюстках. Поки ПС знаходиться на великій відстані від ВОРЛ, рівень сигналу в приймачі відповідача, який визначається випромінюванням бічних пелюсток ДС антени ВОРЛ, незначний і відбувається прийом тільки тих сигналів, які випромінюються головним пелюсткою. У міру наближення ПС рівень сигналів, випромінюваних бічними пелюстками, зростає обернено пропорційно квадрату відстані

до ПС. Сигнали запиту, що випромінюються через бічні пелюстки ДС антени, також приймаються відповідачем, декодуються і у відповідь на них можуть формуватися сигнали відповіді, що створюють помилкові відмітки. В результаті цього на ІКО виникає серія окремо розташованих відміток сигналів, прийнятих головним і бічними пелюстками.

Для придушення випромінювань, що заважають в каналах запиту і відповіді, застосовують додаткову антену з круговою ДС. Через додаткову антену випромінюють спеціальні імпульси придушення, віддалені від першого із сигналів запиту на певний час (рис. 2.2 а, імпульс 3). Основні імпульси 1, 2 випромінюються головною пелюсткою ДС, тому їх амплітуди значно перевищують амплітуду імпульсу придушення (більше ніж на 9дБ).

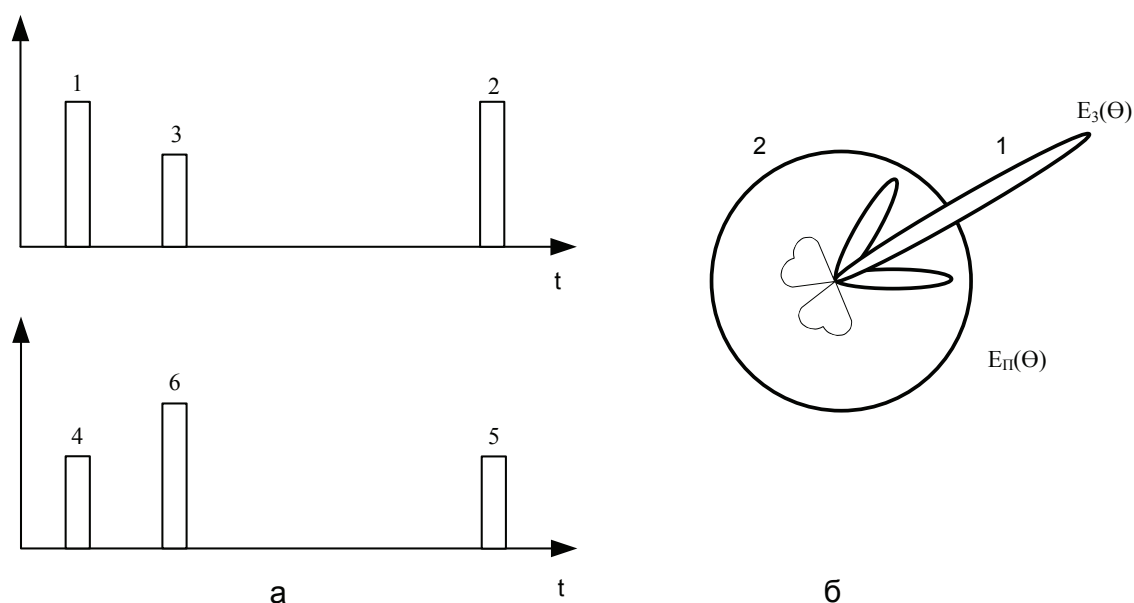


Рис. 2.2 — Часові діаграми сигналів відповіді: а — запитувача; б — форми ДС антен запиту 1 і придушення 2

Якщо на відповідач (транспондер) надходить сигнал, що випромінюється бічним пелюсткою антени ВОРЛ, амплітуда основних імпульсів 4, 5 виявляється нижче амплітуди імпульсу придушення 6, випромінюваного антеною придушення. У відповідача даний імпульс виділяється і використовується для отримання команди заборони на формування імпульсів відповіді. Форми ДС антени запиту і придушення наведені на рис. 2.2 б.

Функціональна схема системи придушення приведена на рис. 2.3 Наземна станція має у своєму складі передавач запиту (основний) і передавач придушення (додатковий),

на які надходять імпульси, що випромінюються. Бортовий відповідач приймає, підсилює і детектує отримані сигнали, після чого вони надходять на схему порівняння амплітуд, в якій основні імпульси порівнюються з імпульсами придушення. Пристрій формування відповідача запускається, якщо імпульс придушення на 9дБ нижче імпульсу запиту.

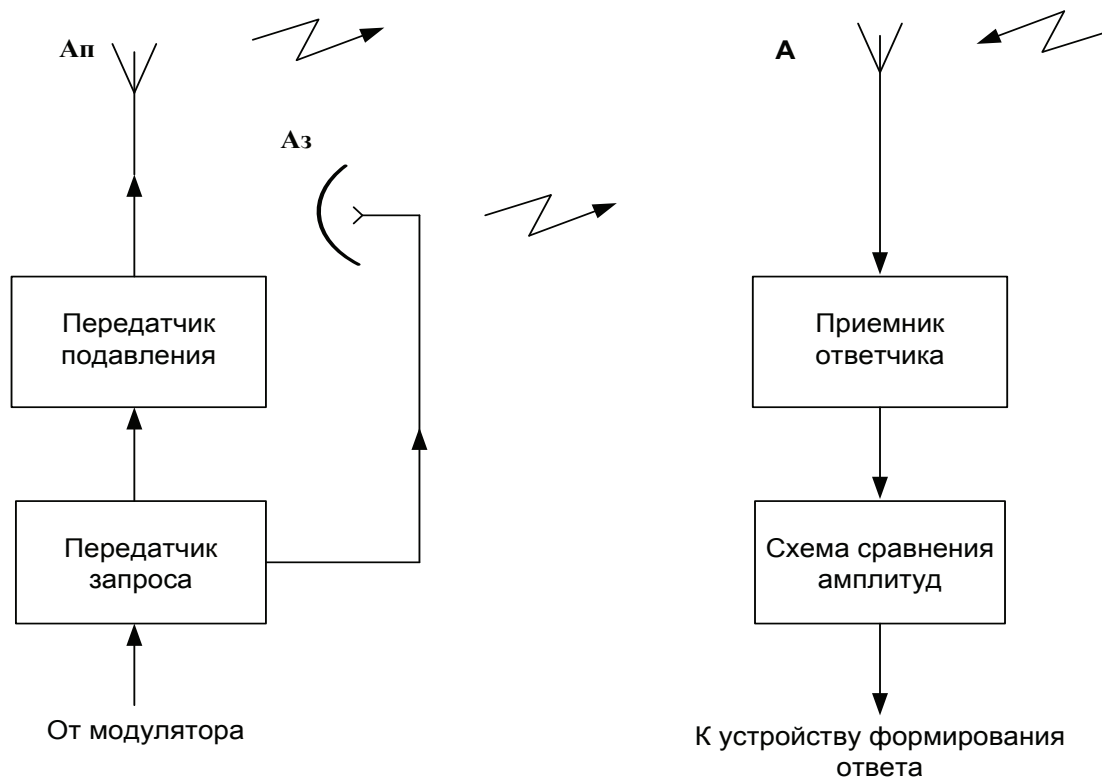


Рис. 2.3 — Функціональна схема системи придушення випромінювання бокових пелюсток

На жаль, захист ВОРЛ по каналу запиту не перешкоджає проникненню в приймач наземної станції сигналів відповідача на запити інших станцій по каналу бічних пелюсток ДС антени в тому випадку, якщо зона дії сторонніх ВОРЛ перекривається із зоною дії даної станції. Для захисту наземної станції від прийому сигналів відповіді НС на запити сторонніх ВОРЛ прийом проводиться не тільки на направлену, але й на ненаправлену антену. У цьому випадку сигнал, прийнятий бічною пелюсткою ДС направленої антени виявляється значно слабшим, ніж сигнал, прийнятий ненаправленою антеною.

Після порівняння амплітуд сигналів проводять бланкування (придушення) імпульсів, прийнятих по бічних пелюстках.

Бортова апаратура ВОРЛ містить відповідач, приймач якого налаштований на робочу частоту ВОРЛ. Прийнятий сигнал декодується і з його даних визнача-

ється склад запитуваної інформації, яка формується на основі даних, отриманих від бортових систем ПС. Сигнал відповіді кодується і надходить на передавальний пристрій, несуча частота якого відрізняється від частоти наземного передавача.

Сигнали системи вторинної радіолокації формуються відповідно до стандартів ICAO (Код RBS), або з національними стандартами (Код УВД). Вони являють собою кодовані групи імпульсів певної тривалості. Тимчасова розстановка і кількість імпульсів в групі визначають характер запитуваної інформації. Додатковий імпульс, включений в кодову послідовність, служить для придушення помилкових сигналів, прийнятих по бічних пелюстках ДС антени ВРЛ. Сигнал відповідні складається з координатного і інформаційного кодів.

Часова затримка інформаційного коду використовується для вимірювання дальності до ПС. Інформаційний код містить ключові імпульси, що визначають вид переданої інформації і кодову послідовність, яка містить інформацію про ПС (бортовий номер, запас палива, висота польоту і т.д.).

Параметри і експлуатаційно-технічні характеристики СВРЛ визначаються типом ВРЛ.

Експлуатований в цивільній авіації України ВОРЛ має наступні параметри:

Дальність дії, при  
висоті польоту 20 км, км.....450

Сектор огляду, град.:  
в горизонтальній площині.....360  
вертикальній.....0,5...45

Похибка вимірювань (о):  
дальності, м..... 300  
азимута, кут хв.....8

Роздільна здатність:  
по дальності, м.....650  
азимуту, град..... 3,5

Вірогідність отримання інформації:  
вірної, не менше..... 0,9  
хибної, не більше..... 10

Поляризація сигналів:  
запиту на частоті  
1030 МГц.....вертикальна

відповіді на частоті

1090 МГц.....вертикальна

740 МГц .....горизонтальна

Частота повторення сигналів запиту, Гц .... 150... 500

## 2.5 Висновки

В даному розділі розглядаються наступні питання:

1. Загальні відомості про системи вторинної радіолокації. Системи вторинної радіолокації (СВРЛ) входять до складу апаратури керування повітряним рухом (КПР). До них відноситься комплекс технічних засобів для визначення координат повітряного судна (ПС), їх індивідуального розпізнавання і автоматичного отримання деяких інших даних про стан ВС.

Система містить наземний комплекс технічних засобів — вторинний радіолокатор (ВРЛ) і бортовий відповідач, призначений для прийому сигналів запиту, декодування їх даних, формування відповідних сигналів на основі інформації бортових датчиків і випромінювання сигналів відповіді.

2. Різновиди вторинних радіолокаційних систем. Системи ВРЛ вирізняються видом, інформативністю коду й значенням несної частоти сигналів запиту й відповіді. Наприклад, у СРСР було розроблено систему, що багато років діяла на території країни і у країнах-сателітах. Ця система передбачає можливість запиту на одній з трьох частот: 835; 837,5; 840 МГц і відповіді на частотах 730; 740; 750 МГц. У повітряному просторі інших країн ця система не використовувалася. Тому у міжнародних рейсах аеро— флоту доводилося додатково використовувати систему Air Traffic Control Radar Beacon System (ATCRBS), прийняту ІКАО, що працює в діапазоні 1030 МГц (запит) і 1090 МГц (відповідь).

3. Функціонування селективної системи вторинної радіолокації. Загальні вимоги до селективних систем зумовлюють їх властивості, які в сукупності становлять основну концепцію функціонування системи. Ключові властивості ВРЛ із режимом S такі:

- індивідуальна адресація запитів;
- можливість використання для отримання інформації лише однієї відповіді на індивідуальний запит незалежно від кількості ЛВ, що перебувають у зоні дії запитувача;
- сумісність з існуючими неселективними системами вторинної радіолокації;

- можливість еволюційного впровадження.

### 3. Завади в системах вторинної радіолокації

Завади, пов'язані з відбиттям від земної поверхні, місцевих предметів, гідрометеоутворень носять по відношенню до ПОРЛ специфічний характер. При цьому виникають специфічні завади, обумовлені використанням принципом «Запит — відповідь», при якому на запит відповідають всі ПС, які прийняли даний сигнал (для систем КПП і RBS). В результаті виникають синхронні і асинхронні завади, що перенавантажують канал зв'язку і порушують роботу самої системи. Особливістю ВОРЛ є також перешкоди, обумовлені передачею і прийомом сигналів по бічних пелюстках Дс антени ВРЛ.

Синхронні завади відбуваються, коли два або кілька ПС мають близькі значення азимута і дальності. Відповідні сигнали, що передаються кожним з них на однаковій частоті, накладаються, що знижує ефективність ВОРЛ в умовах інтенсивного повітряного руху.

## 3 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БОРТОВИХ ВІДПОВІДАЧІВ

### 3.1 Загальні відомості

Відповідачі керування повітряним рухом (КПР) призначені для автоматичної передачі авіадиспетчерам інформації, необхідної для управління рухом ЛА. Відповідачі передають сигнали відповіді на сигнали запиту, що випромінюються вторинними радіолокаторами (або вбудованими вторинними каналами оглядових радіолокаторів) і складають разом з останніми систему вторинної радіолокації.

Вони відповідають на запит вторинного локатора диспетчерської служби чотиризначним кодом. Цей код (squawk code) попередньо видається диспетчером і виставляється пілотом судна на панелі управління відповідачем (якщо диспетчер не видав пілотові код, то в цьому випадку виставляється стандартний: 7000 — код польоту по Європі і 1200 — код польоту по Америці). Диспетчер на моніторі локатора бачить позначку про становище повітряного судна разом з кодом.

Існує кілька спеціальних кодів (squawk code):

7700 — аварія або інша нештатна ситуація на борту

7600 — втрата зв'язку

7500 — захоплення літака

В цьому випадку в диспетчерській службі автоматично включається оповіщення при відображенні на екрані радара даних кодів, звертаючи на себе увагу служби.

Розрізняють три типи відповідачів:

- Відповідачі I типу призначені для роботи з кодами запиту ЗК1-ЗК4 (тобто з кодом УВД країн СНД).
- Відповідачі II типу реагують на коди запиту, прийняті ІКАО.
- Відповідачі III типу можуть використовувати як код УВД, так і міжнародний код, і мають два основні режими роботи; «УВД» і «RBS».

У деяких відповідачах передбачений також режим роботи з вторинними посадковими радіолокаторами.

Відповідач, здатний видавати тільки чотиризначний код — **режим А**. Суттєвою проблемою при використанні відповідачів режиму А є відсутність інформації про висоту польоту повітряного судна. Для вирішення даної ситуації був створений **режим С**. Він доповнює інформацію чотиризначного коду даними про барометричній висоті за стандартним тиском без корекції.

Відповідачі **режиму А + С** в деяких випадках називають RBS. У США вони

обов'язкові при польотах вище 10 000 футів (3 км) і в межах 30 миль навколо великих аеропортів.

Більш інтелектуальним є відповідач **режиму S**. Основною його особливістю є перевірка за ефіром і передача даних тільки в тому випадку, коли він вільний. Це дає можливість вирішити проблему засмічення ефіру в районі з підвищеною кількістю бортів (наприклад, в зоні аеропорту). Ці відповідачі додатково передають в ефір: бортовий номер, позивний, заводський номер відповідача, висота польоту ПС, швидкість і GPS координати.

Відповідачі режиму S бувають двох видів: ELS (ELeментарна Surveillance) і EHS (EnHanced Surveillance). ELS і EHS відрізняються набором переданих параметрів. В Європі потрібно як мінімум ELS, а в верхньому повітряному просторі і для важких літаків — EHS.

Наступним кроком у розвитку є пристрій TCAS (traffic collision avoidance system). Він об'єднує в собі радіолокатор і відповідач. TCAS виводить на екран бортового радіолокатора повітряного судна інформацію про борти і відповідачами, які його оточують. Також він здатний на основі отриманої інформації видати пілотові попередження про небезпечне зближення з іншими бортами і видати команду про те, як змінити траєкторію руху для ухилення від зіткнення. Для цього на інших бортах повинен бути встановлений відповідач як мінімум режиму C.

В українському коді УВД передається інформація про бортовий номер ЛА, висоту польоту (барометричну), запасі палива і векторі шляхової швидкості. Код ІКАО містить інформацію про номер рейсу і висоту польоту, додатково можуть також передаватися повідомлення про аварію та інші екстрені ситуації.

- Робоча частота для відповідачів режимів А, С і S: 1090 МГц
- Частоти прийому УВД: 837,5 МГц; 1030 МГц
- Частоти передачі УВД: 730 МГц; 740 МГц



### 3.2 Бортові відповідачі типу ATCRBS

Розпочнемо із систем старих типів, тобто без режиму S. Такі системи наразі є досить поширеними. Схему типового відповідача системи УВД ATCRBS показано на рис. 3.1.



Рис. 3.1— Функціональна схема відповідача ATCRBS

Це досить простий ламповий відповідач. Багато подібних відповідачів використовуються на практиці, зокрема в авіації загального користування. Випускаються і сучасніші твердотілі відповідачі для транспортної авіації та авіалайнерів. Але в навчальних цілях зручно зупинитися на такій простій системі.

Відповідач обладнаний супергетеродинним приймачем з одним перетворенням частоти. Традиційно в ньому використовується проміжна частота 60 МГц. Зазвичай відповідач має логарифмічний підсилювач в приймальному каналі. Чому це необхідно? Літаковий відповідач ATCRBS приймає сигнали від наземних запитувачів, іноді одночасно від кількох ВРЛ, розташованих на різних позиціях. Крім того, він приймає також запити від бортових систем попередження зіткнень типу TCAS, якщо ними обладнані літаки, що перебувають в зоні дії системи. Таким чином, ЛВ повинен приймати велику кількість запитувальних сигналів різного рівня. Такі сигнали можуть виникати з невеликими часовими інтервалами, а можуть бути рознесеними, тобто надходити з певними затримками відносно один одного. За таких умов дуже складно побудувати приймач з автоматичним регулюванням підсилення (АРП), який би відслідковував кожний

запит. Тому для оброблення сигналів у широкому динамічному діапазоні прийняті сигнали стискаються по амплітуді за допомогою ППЧ з логарифмічною амплітудною характеристикою (ЛАХ).

Якщо прикласти на вхід такого ППЧ неперервний сигнал проміжної частоти з постійною амплітудою, то і на виході буде постійна амплітуда. Але на виході логарифмічного ППЧ, який застосовується у ЛВ, уже немає проміжної частоти, а тільки обвідна, тому що в процесі підсилення сигнал також детектується. Якщо ж на вхід надходить імпульс з несною (на проміжній частоті), то на виході буде відеоімпульс, тобто продетектований логарифмічний відеосигнал.

Крім того, що застосування логарифмічного ППЧ дозволяє обробляти вхідні сигнали великого динамічного діапазону, він також спрощує реалізацію ЛВ. Якщо для більшості звичайних приймачів вважається, що приймач кращий, коли його чутливість вища, то для приймача ЛВ це не так. Приймач ЛВ повинен мати певну визначену чутливість, він не повинен бути більш чутливим, ніж це необхідно. Номінальна чутливість приймача ЛВ становить  $-72$  дБмВт на вхідному рознімачі. Цей рівень вхідного сигналу, який становить чутливість ЛВ, називають MTL — Minimum Trigger Level. Можливі невеликі варіації такої характеристики чутливості, але для цього розгляду вважатимемо, що  $MLT = -72$  дБмВт.

Таким чином, без застосування АРП відеоімпульси на виході ППЧ є пропорційними величині сигналу в логарифмічних одиницях (дБмВт). Для встановлення заданої чутливості ЛВ використовується компаратор, як показано на рис. 2.5. Пристрій регулювання чутливості забезпечує, що тільки вхідні імпульси на антенному вході, які є більшими за  $-72$  дБмВт, змусять компаратор сформувати імпульс на виході. Логарифмічний ППЧ також полегшує реалізацію системи придушення запитувальних сигналів, що надходять по бічних пелюстках (SLS). Якщо  $P_1$  і  $P_2$  мають приблизно рівні амплітуди, то ЛВ не повинен відповідати. Якщо  $P_2$  на 9 дБ менше за  $P_1$ , ЛВ має сформувати і передати відповідь. Між рівністю сигналів  $P_1$  та  $P_2$  і різницею між ними  $-9$  дБ існує gray zone — зона невизначеності, де ЛВ міг би відповідати або не відповідати, але під час розроблення ЛВ цю зону зазвичай звужують до  $-4...-6$  дБ. Для визначеності критерій становить мінус 4 дБ.

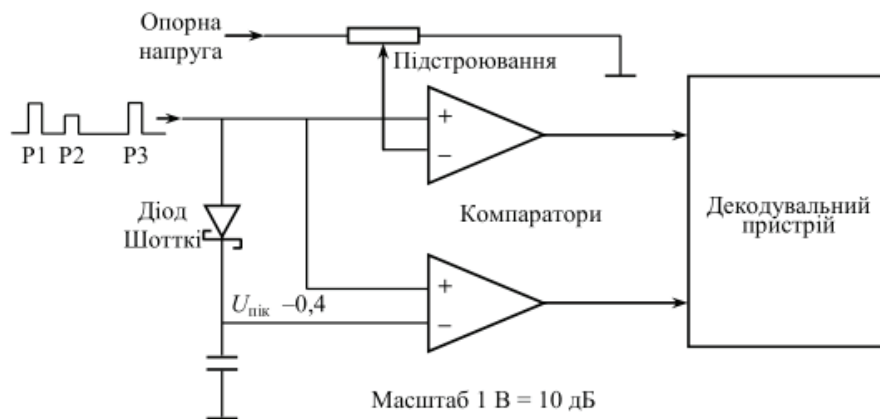


Рис. 3.2 — Виставлення чутливості відповідача

Масштабний коефіцієнт — 1 В на 10 дБ — для цього прикладу є цілком доречним. Пряма напруга, що падає на діоді Шотткі 1 становить приблизно 0,4 В, що за такому масштабу є еквівалентом чотирьох децибелів — різниці рівнів. Перший імпульс через діод Шотткі заряджає конденсатор, напруга на якому (рис. 2.5) стає на 4 дБ нижча від напруги імпульсу. Якщо P1 зарядив конденсатор, а напруга на конденсаторі є опорною для другого компаратора, то лише імпульси більші від мінус 4 дБ відносно першого імпульсу зможуть компаратор змінити свій стан. Таким чином працює система придушення сигналів бічних пелюсток за запитом. Компаратор змінює свій стан під дією будь-якого імпульсу, більшого за рівень МТЛ. Здебільшого такими імпульсами є P1 і P3. Коли імпульс P2 систему SLS також перевищує рівень МТЛ, він також викличе імпульс на виході компаратора, але цей імпульс не сприймається як елемент запитувального коду. Важливо, що сформувався імпульс на виході компаратора через 2 мкс після P1. Це означає, що запит надійшов по бічній пелюстці і реагувати на нього не потрібно.

Взагалі ЛВ весь час налаштований на приймання імпульсів. Будь-які два імпульси, що розділені інтервалом 8 мкс, складають напівпровідниковий діод з низьким значенням падіння прямої напруги та дуже швидким перемиканням; використовує перехід метал–напівпровідник як бар'єр Шотткі (замість р–п переходу, як у звичайних діодів).

### 3.3 Висновки

В даному розділі розглянуто наступні питання:

1. Загальні відомості про бортові відповідачі. Відповідачі керування повітряним рухом (КПР) призначені для автоматичної передачі авіадиспетчерам інформації, необхідної для управління рухом ЛА. Відповідачі передають сигнали відповіді на сигнали запиту, що випромінюються вторинними радіолокаторами (або вбудованими вторинними каналами оглядових радіолокаторів) і складають разом з останніми систему вторинної радіолокації.
2. Бортові відповідачі типу ATCRBS. Це досить простий ламповий відповідач. Багато подібних відповідачів використовуються на практиці, зокрема в авіації загального користування. Випускаються і сучасніші твердотілі відповідачі для транспортної авіації та авіалайнерів. Але в навчальних цілях зручно зупинитися на такій простій системі.

Відповідач обладнаний супергетеродинним приймачем з одним перетворенням частоти. Традиційно в ньому використовується проміжна частота 60 МГц. Зазвичай відповідач має логарифмічний підсилювач в приймальному каналі. Чому це необхідно? Літаковий відповідач ATCRBS приймає сигнали від наземних запитувачів, іноді одночасно від кількох ВРЛ, розташованих на різних позиціях. Крім того, він приймає також запити від бортових систем попередження зіткнень типу TCAS, якщо ними обладнані літаки, що перебувають в зоні дії системи. Таким чином, ЛВ повинен приймати велику кількість запитувальних сигналів різного рівня. Такі сигнали можуть виникати з невеликими часовими інтервалами, а можуть бути рознесені, тобто надходити з певними затримками відносно один одного. За таких умов дуже складно побудувати приймач з автоматичним регулюванням підсилення (АРП), який би відслідковував кожний запит. Тому для оброблення сигналів у широкому динамічному діапазоні прийняті сигнали стискаються по амплітуді за допомогою ППЧ з логарифмічною амплітудною характеристикою (ЛАХ).

## 4 КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СИСТЕМ

### 4.1 Загальні відомості про програмовані логічні інтегральні системи

Найбільш просту побудову серед мікросхем програмованої логіки мали програмовані логічні матриці — ПЛМ. Ці мікросхеми склалися з програмованих матриць «І» та «АБО». Як приклад таких мікросхем можна навести мікросхеми РТ1, РТ2, РТ21 серії 556. На рисунку 4.1 зображена внутрішня структура мікросхеми ПЛМ [5].

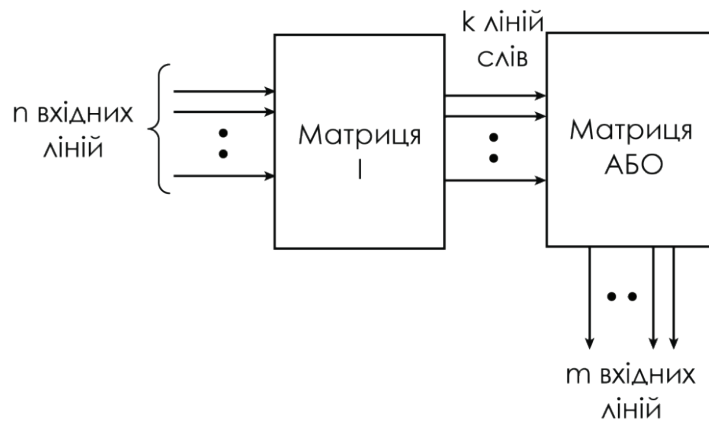


Рис. 4.1 — Спрощена архітектура ПЛМ

Вхідний сигнал розрядністю n потрапляє до першої матриці, де над вхідними даними виконується логічна функція «І». Результати k кон'юнкцій входять до матриці «АБО», де над ними виконується операція логічного додавання (кон'юнкції). Таким чином у ПЛМ можна побудувати m функцій виду:

$$y = \overline{x_1 x_2 x_3 x_4} + \overline{\overline{x_1 x_2 x_3 x_4}} \quad (4.1)$$

В подальшому архітектура мікросхем програмованої логіки ускладнювалась. Змінювалась архітектура окремої чарунки, їх кількість та схема зв'язків, додавались нові функції та модулі. Перш ніж перейти до розгляду архітектури сучасних мікросхем спочатку розглянемо основні архітектурні особливості ПЛІС.

Схематично мікросхема та шляхи проходження сигналів показані на рисунку 4.2. Мікросхема містить елементи вводу-виводу, логічні елементи та лінії зв'язку — рядки і стовбчики. Спрощений механізм роботи пристрою на ПЛІС виглядає таким чином: сигнал через елементи вводу-виводу потрапляє в мікросхему, де в логічному елементі над ним виконуються необхідні операції. Потім по лініях зв'язку через елементи вводу-виводу сигнал виходить з мікросхеми.

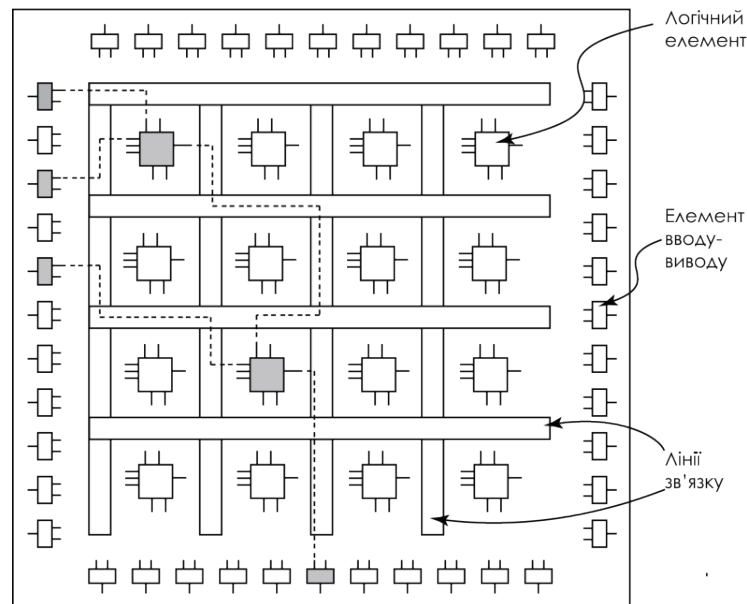


Рис. 4.2 — Спрощена архітектура ПЛІС

Програмування та перепрограмування впливає на режими роботи логічних елементів, елементів вводу-виводу, зв'язки елементів в мікросхемі — як і в якому порядку з'єднуються логічні елементи, як розташовуються функції в логічних елементах. Для збереження всіх цих параметрів в мікросхемі ПЛІС існує конфігураційна пам'ять, доступ до якої користувач не може отримати, і програмування якої виконується спеціалізованим програмним забезпеченням.

Архітектура та можливості сучасних ПЛІС дуже різноманітні, але у більшості випадків можна навести декілька класифікаційних ознак:

- ступінь інтеграції або логічна ємність;
- архітектура логічного елемента мікросхеми;
- тип запам'ятовуючого елемента для пам'яті конфігурації;
- наявність вбудованих модулів (внутрішньої пам'яті, помножувачів, блоків цифрової обробки сигналів, інтерфейсів для різноманітних протоколів та інших).

Ступінь інтеграції або логічна ємність — найбільш важливий показник мікросхем ПЛІС. Сучасні мікросхеми включають в себе сотні мільйонів транзисторів, але мікросхема ПЛІС має дуже велику надлишковість структури, тому для більш коректного визначення об'єму мікросхем виробники використовували такий параметр як кількість еквівалентних логічних вентилів типу 2І-НІ або 2АБО-НІ, які б використовувались для реалізації пристроїв тієї ж самої складності, що і на ПЛІС. Такий спосіб розрахунку об'єму ПЛІС використовувався приблизно до 2004 року. Мікросхеми, які випускались на той час, мали обсяг від 10 тисяч екві-

валентних логічних елементів (для мікросхеми Flex 10K10 фірми ALTERA) до 5,3 мільйонів еквівалентних логічних елементів (для мікросхеми APEX II фірми ALTERA). Слід відмітити, що кожна з фірм, що випускає мікросхеми програмованої логіки, розраховує кількість еквівалентних вентилів за власною методикою, що ускладнює порівняння мікросхем різних типів. Крім того, в структуру мікросхеми крім власне логічних елементів входить ще дуже багато різноманітних вузлів (елементи вводу-виводу інформації, блоки пам'яті, ресурси трасування сигналів і т.д.), кожен з яких описується різною кількістю еквівалентних логічних елементів. Це також ускладнює розрахунок у еквівалентних вентилях.

Тому сьогодні для вимірювання ємності мікросхеми використовують такий параметр як кількість логічних елементів. Але, оскільки архітектура логічних елементів для різних мікросхем навіть одного виробника відрізняється від іншої, то порівняння мікросхем стає ще більш ускладненим. Для порівняння ПЛІС різних виробників можна порекомендувати статтю [1].

З іншого боку мікросхеми основних виробників ПЛІС можуть бути поділені на такі умовні класи як дешеві мікросхеми (Lowest Cost), мікросхеми середнього класу (middle) та hi-end мікросхеми. Так серед продукції компанії Altera до мікросхем класу Lowest Cost відносяться мікросхеми сімейств Cyclone. Для мікросхем компанії Xilinx це сімейства Spartan [3, 7, 13, 16]. Вартість найменшої з таких мікросхем складає близько 12 доларів. До мікросхем середнього класу компанія Altera відносить мікросхеми сімейства Arria, що орієнтовані на реалізацію швидкісних інтерфейсів вводу-виводу. Вартість найменшої з цих мікросхем складає близько 170 доларів. Мікросхеми класу hi-end є найкращим досягненням виробника і до таких мікросхем відносяться мікросхеми сімейств Statix компанії Altera та Virtex компанії Xilinx [3, 8, 17, 18]. Вартість таких мікросхем може сягати кількох тисяч доларів.

За архітектурою логічного елемента (Logic Element — LE) найбільш часто мікросхеми розділяють на два типи [2, 4]:

- CPLD — Complex Programmable Logic Devices — пристрій зі складною програмованою логікою;
- FPGA — Field Programmable Gate Array — матриця програмованих логічних елементів.

Мікросхеми з архітектурою CPLD реалізують в логічному елементі складну логічну функцію у вигляді логічного рівняння, яке формується за допомогою функцій «І» та «АБО». Це більш ускладнений варіант ПЛІМ мікросхем.

Конфігураційні дані в мікросхемах цього виду зберігається у вбудованій пам'яті типу Flash, тому для своєї роботи мікросхеми не потребує зовнішнього завантажувача конфігурації. Найбільш характерними представниками такого виду ПЛІС можуть слугувати мікросхеми сімейств MAX7000 та MAX3000 фірми ALTERA або CoolRunner та XC9500 фірми XILINX [6, 9, 10, 12, 14]. Більш детально архітектура мікросхеми MAX3000 буде розглянута у параграфі 1.3.

Основна ідея мікросхем FPGA полягає в тому, що будь-яка функція може бути описана таблицею дійсності. Тому мікросхеми цього типу реалізують логічну функцію на основі таблиці перекодування (look-up table), яка за принципом роботи подібна до постійного запам'ятовуючого пристрою. Класичним прикладом такого типу мікросхем можна назвати сімейство FLEX 10K фірми Altera, яке свого часу було дуже поширене і описане в багатьох книгах та підручниках [9, 11]. Ми ж розглянемо архітектуру FPGA мікросхем на прикладі мікросхем Cyclone II фірми ALTERA в параграфі 1.1. До FPGA мікросхем також відносяться ПЛІС сімейств Stratix фірми Altera та Spartan і Virtex компанії Xilinx [3, 10].

Тип запам'ятовуючого елемента пам'яті конфігурації визначає можливості ПЛІС по програмуванню, перепрограмуванню і збереженню інформації при відключенні живлення.

Сучасні мікросхеми використовують EEPROM, Flash або SRAM технологією для виготовлення запам'ятовуючого елемента, що дає можливість перепрограмувати мікросхему.

Мікросхеми, що використовують технологію EEPROM або Flash забезпечують енергонезалежне збереження конфігурації, а також і багаторазове програмування мікросхеми. Мікросхема на SRAM повинна кожен раз програмуватися при ввімкненні живлення. Конфігураційні дані в цьому випадку зберігається у зовнішньому ПЗП або у персональному комп'ютері.

Наявність вбудованих модулів. Окрім стандартних логічних елементів ПЛІС може містити також апаратні блоки, які виконують спеціалізовані функції. Найбільш часто в мікросхемах розмішують блоки пам'яті, помножувачі, блоки фазового автопідстроювання частоти. Кількість та наявність таких блоків визначається складністю та призначенням мікросхеми. Наявність таких блоків з одного боку ускладнює мікросхему, підвищуючи її вартість. З іншого боку апаратні ядра значно потужніші за швидкодією у порівнянні з такими самими пристроями, створеними на логічних елементах [4].



## 4.2 Архітектура мікросхем сімейства Cyclone II

Мікросхеми Cyclone відносяться до так званих «дешевих» мікросхем ПЛІС. Перші мікросхеми сімейства Cyclone з'явилися у 2002 році. З того часу було випущено кілька сімейств і на сьогоднішній день фірма ALTERA випускає мікросхеми сімейства Cyclone V. У даному розділі ми розглянемо архітектуру сімейства Cyclone II [13].

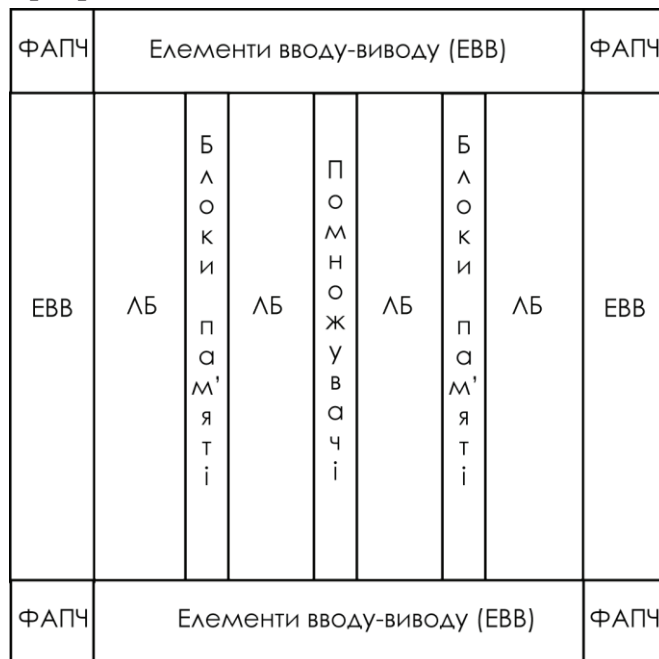


Рис. 4.3 — Загальна архітектура мікросхеми Cyclone II.

Загальна архітектура мікросхеми Cyclone II показана на рисунку 1.3. В структурі мікросхеми показані лише ті ресурси, які розробник може використувати в своїх проектах і які доступні йому для програмування. Основний елемент мікросхеми це логічний блок (ЛБ), який включає в себе елементарні чарунки мікросхеми — логічні елементи (ЛЕ). В масиві логічних блоків розташовані стовпчики блоків пам'яті та помножувачів. По периметру мікросхеми розміщуються елементи вводу-виводу (ЕВВ), скрізь які виконується обмін мікросхеми інформацією з навколишнім світом. По кутах кристалу розміщені блоки фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Крім показаного на рисунку 1.3 на кристалі розміщується ще вузол конфігурування та конфігураційна пам'ять, які недосяжні користувачу. Перелік ресурсів найменшої та найбільшої мікросхем сімейства Cyclone II наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Параметри мікросхем сімейства Cyclone II

Параметр	EP2C5	EP2C70
Кількість логічних елементів	4 608	68 416
Кількість блоків пам'яті М4К	26	250
Загальний об'єм пам'яті, біт	119 808	1 152 000
Блоків ФАПЧ	2	4
Вбудованих помножувачів	13	150
Виводів, доступних користувачеві	158	622

### 4.3 Архітектура логічного елемента, логічний блок та конфігурований блок пам'яті М4К

ПЛІС Cyclone II — це FPGA мікросхема і основою логічного блоку в ній є таблиця перекодування (Look-Up Table — LUT). Архітектура логічного блоку показана на рисунку 1.4.

Таблиця перекодування може генерувати будь-яку логічну від чотирьох змінних. Крім таблиці перекодування логічний елемент містить також конфігурований тригер (Programmable Register) та схему переносу.

Логічний елемент може працювати у двох режимах роботи:

- нормальному режимі,
- арифметичному режимі.

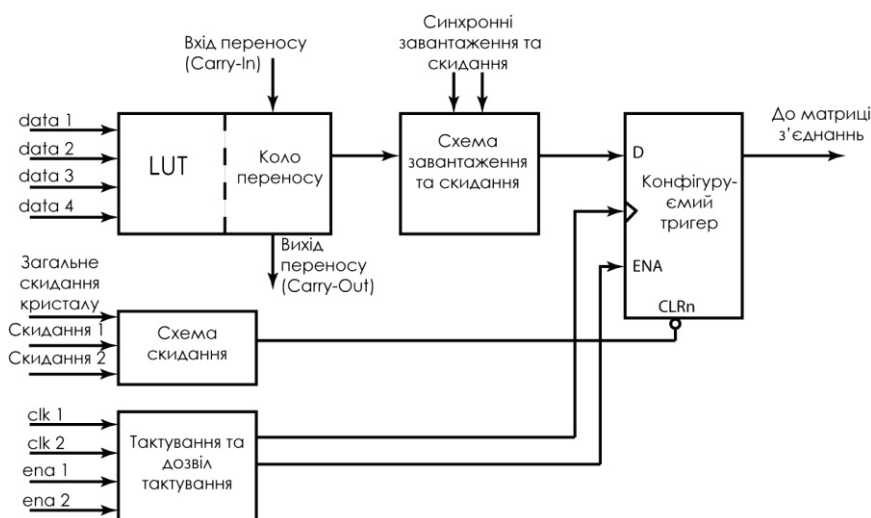


Рис. 4.4 — Загальна архітектура логічного елемента FPGA мікросхеми\

В нормальному режимі роботи (рисунок 1.5) на входи таблиці перекодування надходять чотири сигнали даних (data 1 .. data 4), а з виходу дані можуть поступати або на вхід конфігурованого тригера, або через матрицю з'єднань на інші елементи мікросхеми. Крім вхідних даних в логічний елемент з логічного блоку надходять також лінії двох локальних сигналів синхронізації (clk 1, clk 2), двох сигналів дозволу роботи (ena 1, ena 2), двох сигналів скидання та сигналу загального скидання кристалу, а також сигнали синхронного завантаження та скидання. Конфігурований тригер, в залежності від режиму роботи, може працювати як D, T, JK або RS тригер. Вихідний сигнал тригера надходить в матрицю з'єднань і може подаватися через лінії зв'язку на будь-який елемент мікросхеми.

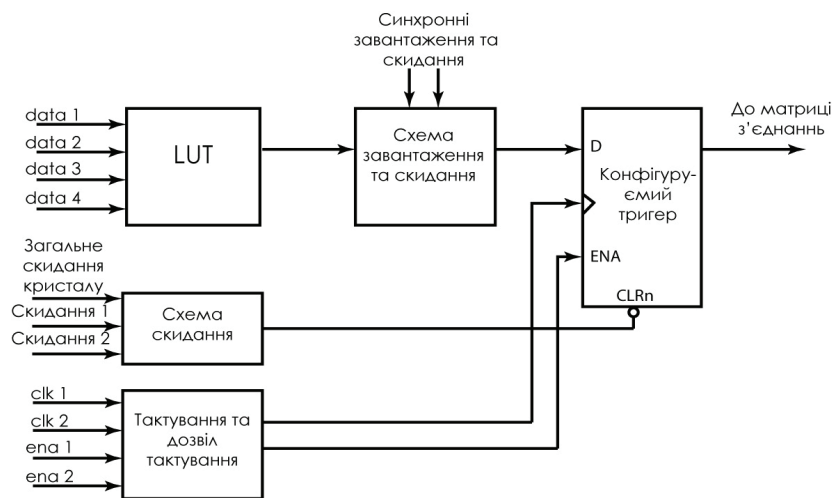


Рис. 4.5 — Логічний елемент FPGA мікросхеми в нормальному режимі роботи.

Перед вивченням арифметичного режиму роботи пригадаємо як виконується операція додавання у двійковому коді.

Для додавання двох багаторозрядних чисел над кожним розрядом (крім молодшого) необхідно виконати такі операції:

$$S_i = A_i \oplus B_i \oplus P_{i-1} \tag{4.2}$$

$$P_i = A_i B_i + P_{i-1} (A_i \oplus B_i)$$

де  $S_i$  — сума  $i$ -го розряду,

$P_i$  — вихід переносу з  $i$ -го розряду,

$P_{i-1}$  — вхід переносу з  $i-1$ -го розряду,  $A_i, B_i$  —  $i$ -й розряд доданка  $A$  та  $B$ .

З наведених вище формул видно, що для виконання операції додавання необхідно використати три змінні:  $A$ ,  $B$ ,  $P$ , які повинні надійти до логічного елемента мікросхеми. Крім того, необхідно організувати перенос з молодшого розряду і до старшого розряду. Таким чином, необхідна інша архітектура логічного елемента, яка показана на рисунку 4.6. Така архітектура використовує таблицю перекодування, що поділена на дві тривходові таблиці перекодування. Одна таблиця використовується для формування сигналу суми, а друга — для формування сигналу переносу (Carry-Out). В якості сигналів даних використовуються два входи даних ( $data1$ ,  $data2$ ) та вхід переносу (Carry-In).

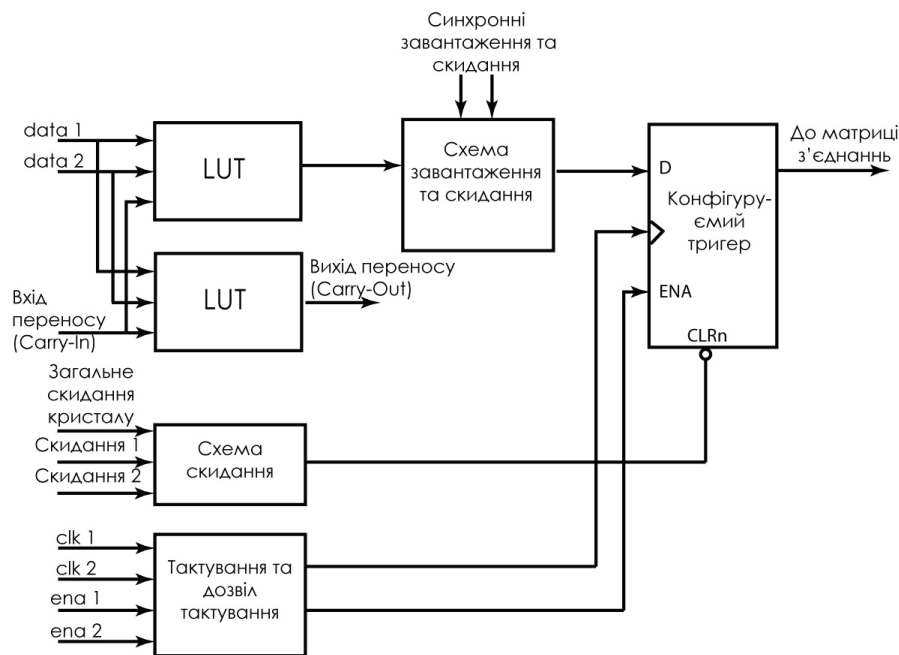


Рис. 4.6 — Логічний елемент FPGA мікросхеми в арифметичному режимі роботи

Для складання багаторозрядного числа логічні елементи повинні бути об'єднані у загальну структуру, структуру якої показано на рисунку 4.7. З рисунку видно, що окремі розряди доданків надходять до сусідніх ЛЕ, які формують біти результату. Якщо розрядність доданків перевищує кількість логічних елементів у логічному блоці (для мікросхем сімейства Cyclone II — це 16), то формується сигнал переносу з одного логічного блоку до іншого (LAB Carry-Out).

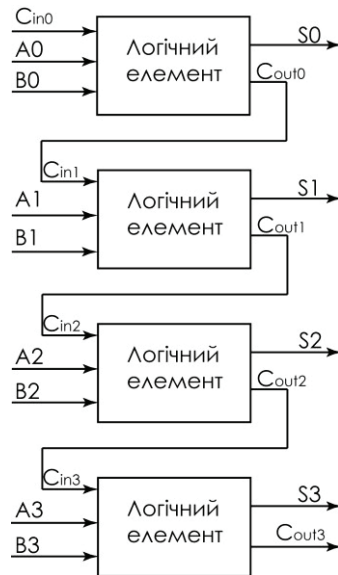


Рис. 4.7 — Об'єднання логічних елементів для додавання 4-розрядних чисел

Логічний блок (Logic Array Block — LAB) мікросхеми містить у собі шістнадцять логічних елементів, які з'єднані локальною матрицею з'єднань (Local interconnect), ланцюги сигналів керування логічним блоком, ланцюг переносу для логічних елементів блоку та ланцюг переносу з одного логічного блоку до іншого. На рисунку 1.8 показано два логічних блоки та з'єднання їх з глобальною матрицею з'єднань.

Логічні блоки розташовані рядками та стовбчиками і з'єднуються між собою за допомогою глобальної матриці з'єднань (MultiTrack interconnect).

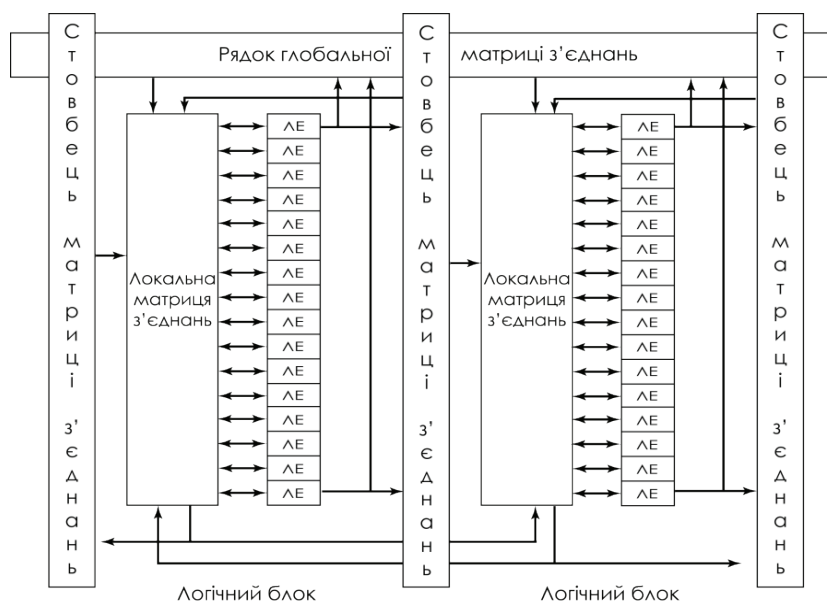


Рис. 4.8 — Логічні блоки мікросхеми Cyclone II

Мікросхеми сімейства Cyclone II містять в собі блоки пам'яті типу М4К, об'єм яких складає 4 098 біт. Загальний об'єм вбудованої пам'яті мікросхеми становить від 104 кбіт до 1 Мбіта, а максимальна тактова частота роботи сягає 250 МГц.

Блок пам'яті М4К може конфігуруватись в наступні види пам'яті:

- оперативна пам'ять;
- постійний запам'ятовуючий пристрій;
- двопортовий ОЗП;
- регістр зсуву;
- блок FIFO.

Крім того можлива робота з бітом парності.

Основною відмінністю вбудованих блоків пам'яті ПЛІС є їх конфігурованість, тобто блок пам'яті може мати кілька різних варіантів організації, об'єм яких не перевищує об'єм самого блоку пам'яті. При роботі блок М4К допускає наступні конфігурації:

- 4Кx1;
- 256x16;
- 2Кx2;
- 256x18;
- 1Кx4;
- 128x32;
- 512x8;
- 128x36.
- 512x9;

Якщо ж необхідно використовувати модуль вбудованої пам'яті більшого об'єму, то кілька блоків об'єднуються в один модуль. В більш старих мікросхемах ПЛІС, наприклад Flex10К, блок пам'яті вважався використаним, якщо в ньому був зайнятий хоча б один біт. Невикористані біти пам'яті розробник вже не міг використовувати в своєму проекті. У мікросхемах сімейства Cyclone є можливість використовувати один модуль М4К для двох однопортових блоків пам'яті, що значно підвищує використання блоків пам'яті.

#### **4.4 Архітектура блоку ФАПЧ**

Блоки фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ, Phaselocked loop, PLL) можуть використовуватись для множення та ділення частоти, зсув фази тактово-

го сигналу відносно основної частоти та отримання програмованої шпаруватості тактового сигналу.

Розглянемо основний принцип роботи системи ФАПЧ, структурна схема якої зображена на рисунку 1.9.

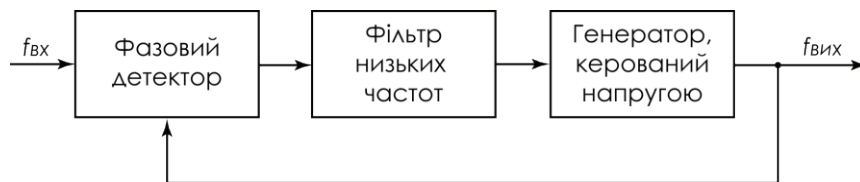


Рис. 4.9 — Структурна схема ФАПЧ

До складу системи входить фазовий детектор, який визначає різницю в фазі та частоті вхідного сигналу ( $f_{vx}$ ) та сигналу зворотного зв'язку. Вихідний сигнал формується генератором, що керується напругою. Фільтр низьких частот необхідний для запобігання самозбудженню системи в цілому.

В результаті роботи такої системи в ідеальному випадку можна отримати на виході сигнал, що збігається з вхідним сигналом.

При подальшому ускладненні системи (рис. 1.10) до неї додаються три лічильники — дільники частоти: вхідний (коефіцієнт ділення  $M$ ), вихідний (коефіцієнт ділення  $K$ ) та лічильник у ланці зворотного зв'язку (коефіцієнт ділення  $N$ ).

Якщо увімкнути у ланку зворотного зв'язку дільник зі змінним коефіцієнтом рахування  $N$ , то частота на виході цього дільника зменшиться в  $N$  раз у порівнянні з сигналом  $f_d$ . Система фазового автопідстроювання частоти буде підтримувати значення частот на вході фазового детектора рівними один одному. А це означає, що частота на виході генератора, що керується напругою, буде збільшуватись в  $N$  разів у порівнянні з вхідною частотою  $f_d$ . Змінюючи коефіцієнт рахування дільника зворотного зв'язку можна отримувати різні значення частот генератора.

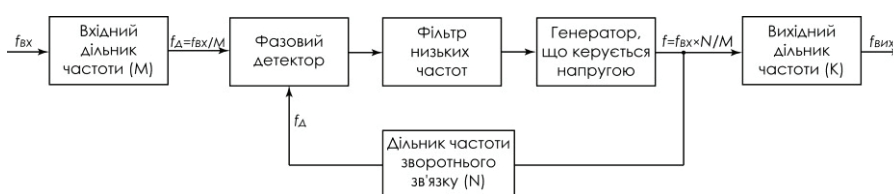


Рис. 4.10 — Структурна схема ФАПЧ в ПЛІС Cyclone II

Додавання до схеми вхідного дільника частоти з постійним коефіцієнтом рахування  $M$  дозволяє отримати низьку частоту для порівняння на входах фазового детектора. На виході генератора, що керується напругою, додається ще один дільник, але вже зі змінним коефіцієнтом рахування  $K$ . В результаті вихідна частота буде визначатися формулою:

$$f_{вих} = \frac{f_{вх}}{M} N / K \quad (4.3)$$

#### 4.5 Знайомство з ПЛІС фірми ALTERA сімейства Cyclone IV

Плата розробника розроблена для серії Altera Cyclone IV, оснащена ПЛІС EP4CE6, периферійними роз'ємами, додаткової оперативної пам'яттю, семи-сегментним дисплеєм, призначеними для користувача кнопками і багатьма іншими корисними аксесуарами на борту і легко інтегрує різні стандартні інтерфейси.

Комплект розробника Cyclone IV FPGA:

Стартова плата Cyclone IV (Рис.3.1):

- Cyclone IV EP4CE6E22C8N FPGA (рис.3.3)
- Живлення плати 5V
- має вбудований трансформатор з 5V to 3.3V chip AMS1117-3.3
- Конфігурація;
- Вбудована схема USB-Blaster™ (включаючи CPLD Intel EPM3128A), що дозволяє завантажувати файли конфігурації FPGA через USB-порт користувача.

Пам'ять:

- 256 мегабіт (Мб) DDR SDRAM 1 мегабайт (МБ) синхронної SRAM 16 Мб флеш-пам'яті Intel P30 / P33

Clocking:

- 50 МГц вбудований кварцовий генератор.
- Кнопки та індикатори;
- 12-bit emitting diodes;
- Всього шість кнопок, чотири для користувача;
- Всього сім світлодіодів, чотири призначених для користувача;
- busser indicator on board;
- можливість підключення VGA дисплея;
- вісім семи сегментних індикаторів;



- 8 тумблерів(switch) ;
- 179 користувацьких I/O
- З'єднувачі;
- High Speed Mezzanine Card;
- USB Тип MINI port

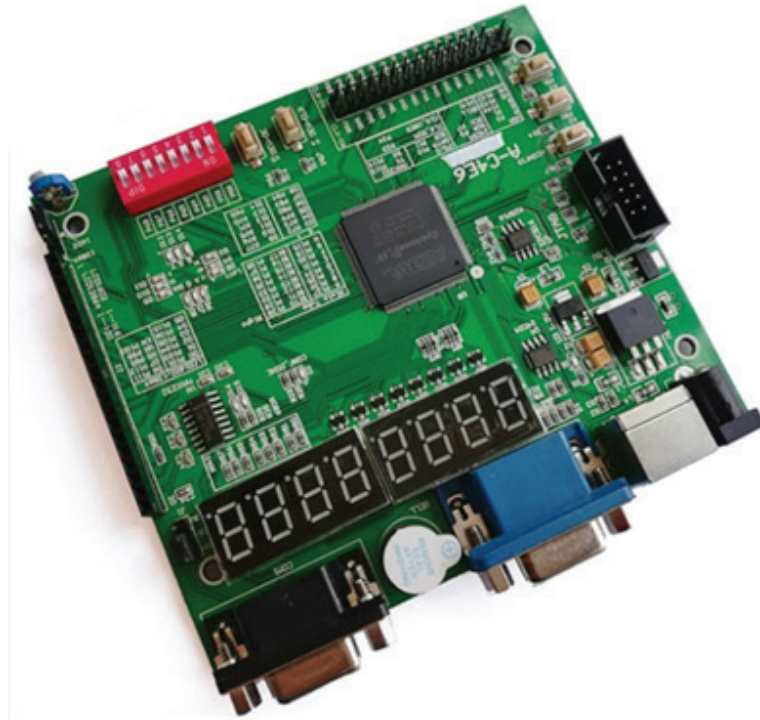


Рисунок 4.11 — Стартова плата Cyclone IV

В платі Cyclone IV також наявний модуль EPCS16/or M25P16 що надає змогу зберігати програму у пам'яті плати та не потребує перезапису кожен раз після включення плати. Під час наступного увімкнення плати створиться запит до модулю пам'яті після чого наявна програма запишеться у плату ПЛІС та буде готова до роботи.

## 4.6 Висновки

В даному розділі було розглянуто наступні питання:

1. Загальні відомості про програмовані логічні інтегральні системи. Найбільш просту побудову серед мікросхем програмованої логіки мали програмовані логічні матриці — ПЛМ. Ці мікросхеми склалися з програмованих матриць «І» та «АБО». Як приклад таких мікросхем можна навести мікросхеми РТ1, РТ2, РТ21 серії 556. На рисунку 4.1 зображена внутрішня структура мікросхеми ПЛМ.
2. Архітектура мікросхем сімейства Cyclone II Загальна архітектура мікросхеми Cyclone II показана на рисунку 1.3. В структурі мікросхеми показані лише ті ресурси, які розробник може використовувати в своїх проектах і які доступні йому для програмування. Основний елемент мікросхеми це логічний блок (ЛБ), який включає в себе елементарні чарунки мікросхеми — логічні елементи (ЛЕ). В масиві логічних блоків розташовані стовпчики блоків пам'яті та помножувачів. По периметру мікросхеми розміщуються елементи вводу-виводу (ЕВВ), скрізь які виконується обмін мікросхеми інформацією з навколишнім світом. По кутах кристалу розміщені блоки фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Крім показаного на рисунку 1.3 на кристалі розміщується ще вузол конфігурування та конфігураційна пам'ять, які недосяжні користувачу. Перелік ресурсів найменшої та найбільшої мікросхем сімейства Cyclone II наведені в таблиці 4.1.
3. Архітектура логічного елемента та логічний блок та конфігурований блок пам'яті М4К. В нормальному режимі роботи (рисунок 1.5) на входи таблиці перекодування надходять чотири сигнали даних (data 1 .. data 4), а з виходу дані можуть поступати або на вхід конфігурованого тригера, або через матрицю з'єднань на інші елементи мікросхеми. Крім вхідних даних в логічний елемент з логічного блоку надходять також лінії двох локальних сигналів синхронізації (clk 1, clk 2), двох сигналів дозволу роботи (ena 1, ena 2), двох сигналів скидання та сигналу загального скидання кристалу, а також сигнали синхронного завантаження та скидання. Конфігурований тригер, в залежності від режиму роботи, може працювати як D, T, JK або RS тригер. Вихідний сигнал тригера надходить в матрицю з'єднань і може подаватися через лінії зв'язку на будь-який елемент мікросхеми.

4. Архітектура блоку ФАПЧ. До складу системи входить фазовий детектор, який визначає різницю в фазі та частоті вхідного сигналу ( $f_{вх}$ ) та сигналу зворотного зв'язку. Вихідний сигнал формується генератором, що керується напругою. Фільтр низьких частот необхідний для запобігання самозбудженню системи в цілому.

В результаті роботи такої системи в ідеальному випадку можна отримати на виході сигнал, що збігається з вхідним сигналом.

При подальшому ускладненні системи (рис. 1.10) до неї додаються три лічильники — дільники частоти: вхідний (коефіцієнт ділення  $M$ ), вихідний (коефіцієнт ділення  $K$ ) та лічильник у ланці зворотного зв'язку (коефіцієнт ділення  $N$ ).

#### 5 Знайомство з ПЛІС фірми ALTERA сімейства Cyclone IV

Плата розробника розроблена для серії Altera Cyclone IV, оснащена ПЛІС EP4CE6, периферійними роз'ємами, додаткової оперативної пам'яттю, семисегментним дисплеєм, призначеними для користувача кнопками і багатьма іншими корисними аксесуарами на борту і легко інтегрує різні стандартні інтерфейси.

## **5 ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМУВАННЯ НА МОВІ VERILOG HDL**

### **5.1 Загальні відомості про мову програмування Verilog HDL**

Незважаючи на те, що в даний момент інформація про базові конструкції мови Verilog HDL широко представлена і в російськомовних книгах, і в інтернет-документах, вона по більшій мірі є загальнотеоретичною і не містить прикладів конкретних практично реалізованих цифрових схем. Ситуація з освоєнням мови також ускладнена тим, що досить велика кількість операторів мови Verilog HDL не беруть участь безпосередньо в синтезі цифрових схем і призначені лише для тестування створюваних схем. На перших кроках вивчення мови Verilog досить важко відчувати цю різницю. Іншими труднощами освоєння мови є використання в ній тих же за назвою конструкцій (ключових слів), що і в поширених мовах для програмування процесорів (Сі, Паскаль і т.д.), що штовхають новачків на невірну інтерпретацію «знайомих» ключових слів. З урахуванням того, що нині мови програмування процесорів увійшли практично в усі програми навчання технічних вузів, освоєння мови Verilog супроводжується боротьбою швидше з непотрібними стереотипами, почерпнутими з класичних мов, ніж з розумінням мотивів, покладених в основу синтезу цифрових схем по текстовим конструкціям.

На цьому, однак, всі труднощі початківця не закінчуються, ще одну трудність становить освоєння середовища програмування, в якому виконуються всі роботи по розробці цифрової схеми. Через те, що такі середовища крім синтезу «абстрактної» цифрової схеми (тобто не прив'язаної до конкретної мікросхеми ПЛІС — інтегральної схемою з програмованими логічними характеристиками) виконують досить багато завдань, зокрема, «підгонку» (вибір конкретних елементів в конкретній ПЛІС і ліній їх з'єднання) отриманої при синтезі «абстрактної» схеми до архітектури (топології) конкретної ПЛІС, виконують часовий аналіз схеми, реалізованої в конкретній ПЛІС, допомагають в налагодженні схеми в ПЛІС і т.д. Така багатозадачність середовища програмування ПЛІС призводить до того, що її інтерфейс рясніє безліччю інструментів і не завжди є інтуїтивно зрозумілим, через що початківець може розгубитися.

Як наслідок, освоєння мови Verilog краще починати не з опису ключових слів мови, як це прийнято в класичних мовах програмування процесорів, а з готових прикладів цифрових схем, що спираються на базові конструкції синтезується частини мови Verilog. І тут найважливішим є розуміння основних принципів програми, що синтезує загальну логічну схему по тексту Verilog коду. Таку програму називають

або «схемотенератор», або «схемосинтезатор» (форма найбільш близька до англійської назви). Для розуміння логіки роботи схемосинтезатора обов'язковою умовою є супровід Verilog коду «абстрактної» схемою (не прив'язаної до апаратної платформи конкретної ПЛІС), створеної за даним кодом і зображеної графічно на так званому рівні реєстрових передач (RTL — register-transfer level). Рівень RTL — це рівень графічного зображення схеми, досить віддалений від низового рівня транзисторів, коли схема зображується, в основному, за допомогою реєстрів, тригерів, мультиплексорів, дешифраторів, цифрових компараторів, суматорів і буферних елементів з мінімальним залученням найпростіших схем І, АБО, що виключає до малювання RTL-схем. Програмне забезпечення сучасних САПР (система автоматизованого проектування і розрахунку) для великих структуровані (ієрархічних) проектів поповнює свої RTL-схеми додатковими блоками, що приховують RTL-схему молодшого за проектною ієрархією модуля і зображуваними у вигляді прямокутників. У такому ключі зображуються цифрові автомати (або в англійській традиції state-machines — машини станів) без доступу до їх внутрішньої RTL-схеми.

Початківцю в HDL-програмуванні (або FPGA-програмуванні — за назвою технології найпопулярніших зараз програмованих ПЛІС) буває важко зорієнтуватися, як виробити «хороший стиль» програмування, що дозволяє отримувати надійну і компактну схему. Одним з простих способів для формування такого стилю є перегляд RTL-схеми, створюваної схемогенератором. Зокрема, під час написання HDL програм небажано «бездумно» нарощувати число вкладених або численних гілок в умовних операторах, так це призводить до формування численних каскадів мультиплексорів, що знижують компактність схеми.

Синтезовані RTL-схеми у різних виробників програм-схемосинтезаторов можуть трохи відрізнятися. В даному випадку RTL-схеми отримані за допомогою САПР Quartus II (від фірми Altera). Такий вибір пов'язаний, в основному, з тим, що дана САПР дозволяє не тільки синтезувати схеми, але також програмувати (конфігурувати) ПЛІС, що використовуються в практичних роботах, і немає необхідності у вивченні програм сторонніх виробників. Розробники САПР приділяють велику увагу виразності RTL-схем, і не тільки в сенсі зручності компоновки всіх елементів і з'єднувальних проводів, але і в сенсі барвистості їх подання. Щоб читач повною мірою міг оцінити цю роботу розробників САПР, частина RTL-схем, представлених в посібнику, отримана в 9-й версії Quartus II (з функціональними вузлами без колірної заливки), а частина — в 13-ій версії (точніше

в версії 13.1 з функціональними вузлами з синьо-зеленої заливкою), що вийшла п'ять років після 9-ї версії.

Мета цього посібника полягає в тому, щоб продемонструвати особливості та можливості Verilog для опису піддаються синтезу цифрових схем і обмежитися використанням тільки тих конструкцій, які корисні для логічного синтезу схем. Однак ці, або дуже схожі конструкції, підтримуються іншими засобами розробки. При бажанні читач може порівняти проекти Verilog з подібними проектами, використовуючи мови VHDL і AHDL, і побачити як сильні, так і слабкі сторони мови, порівнюючи його з іншими.

## **5.2 Специфікація Verilog HDL в середовищі розробки Quartus II**

Verilog HDL є модульним мовою високого рівня, яка повністю інтегрована в середу розробки Quartus II. Файли проекту Verilog (з розширенням \* .v) можуть бути створені, використовуючи існуючий текстовий редактор Quartus II. Потім вони можуть бути відкомпільовані і промодельовані перед завантаженням в ПЛІС Altera. Файли з Verilog проектом можуть містити будь-яку комбінацію конструкцій, підтримуваних САПР Quartus II. Вони можуть також містити надані Altera логічні функції, включаючи примітиви, мегафункції і макрофункції і задані користувачем логічні функції. Конструкції Verilog HDL дозволяють створювати ієрархічні проекти як з модулів, написаних тільки на Verilog-кодi, так з проектних файлів Verilog, змішаних в ієрархічному проекті з іншими типами файлів. Verilog HDL-проекти також легко включаються в інші ієрархічні (НЕ Verilog) проекти. В текстовому редакторі ви можете автоматично створити символічне зображення схеми, описаної у файлі на мові Verilog (Verilog Design File), яке можете вставити в схему, зображену графічно в GDF-файлі (ax) (Graphic Design Files). Так само в будь-який файл проекту Verilog ви можете включити як визначені користувачем функції, так і надані фірмою Altera логічні функції.

Компілятор Quartus II дозволяє швидко перевіряти синтаксис Verilog-коду або виконувати повну компіляцію для налагодження і обробки проекту. Процесор повідомлень Quartus II може використовуватися для автоматичного визначення місцезнаходження помилок з їх підсвічуванням у вікні редактора тексту. Після того, як проект успішно відкомпільований можуть бути виконані додаткове моделювання і часовий аналіз. Однак зі зростанням щільності ПЛІС фірма Altera виявилася не в змозі підтримувати моделювання всередині САПР Quartus II (з

10-ї версії), запропонувавши користувачам звертатися до послуг сторонніх виробників. Для цієї мети компілятор може також створити вихідні Verilog-файли і файли у форматі Standard Delay Format (SDF — Формат Стандартної Затримки).

HDL-програміст (проектувальник схем) може сам визначити спосіб розбиття і призначення пристроїв для проектного Verilog-файлу, для введення логічного синтезу і налагодження проекту, або може доручити компілятору чи схемосинтезатору автоматичну реалізацію проекту в кращій комбінації пристроїв і розподілити ресурси всередині проекту.

Програмне забезпечення Quartus II підтримує підмножину конструкцій, визначених стандартом IEEE 1364-2001, тобто Quartus II підтримує тільки ті конструкції, які відносяться до логічного синтезу. Список підтримуваних конструкцій може бути знайдений в документації Altera на Quartus II.

### **5.3 Типи даних, що використовуються в мові програмування**

#### **Verilog HDL**

Важливою складовою будь-якої мови програмування є типи даних. Унаслідок широкого поширення процесорів разом з пов'язаними з ними мовами програмування за типами даних в масовій свідомості закріпився сукупний образ форм зберігання та представлення інформації з можливими видами операцій над ними. Так, для зберігання чисел цілого типу використовується двійковий ваговий код певної розрядності, а для виконання операцій над ними — бібліотека цілочисельних обчислень і порівнянь. Незважаючи на відмінності за формою згаданих типів, їх усіх об'єднує те, що вони зберігаються в комірках пам'яті, куди вони пішли «невідомим чином» переміщуються під управлінням процесора, причому всі зміни їх значень відбуваються, в основному, всередині процесорів, як один з етапів переміщення даних. В таких умовах, коли дані всіх типів лежать в одних і тих же по структурі комірках пам'яті, тип даних цілком задає програма на процесорі, прикладаючи різні бібліотеки до конкретних комірок. З цієї причини тип даних, який визначає методи обробки і явно вказаний в програмі для процесора, має найважливіше значення.

Зовсім інша ситуація з деякими HDL-мовами, де поділ між типами спирається на «протистояння» між чисто комбінаційними (сполучними) і реєстровими (стробованими) схемами, що утворюють загальну проектовану схему. Незважаючи на те, що такий поділ є не у всіх HDL-мовах, ми будемо спочатку дотримуватися його для простоти викладу роботи схемогенератора, вкрай необхідної

початківцю HDL-програмісту. У мові Verilog вищевказані типи позначаються ключовими словами `wire` та `reg`. Крім цих типів наступними по необхідності типами є константи, що вводяться за допомогою ключового слова `parameter`, і цілі числа, що вводяться за допомогою ключового слова `integer`. Основне призначення типу `integer` — це введення змінних, які задають число повторень в багаторазовому розмноженні будь-якої частини схеми при синтезі загальної схеми (але не під час її роботи) всередині циклів (наприклад, `for`, `repeat`). Використання констант (`parameter`) в Verilog також має особливості, відсутні в звичайних мовах програмування. Цей тип широко використовується в так званій параметризації модулів, коли сам модуль описаний, спираючись на константу, проте є можливість включення екземпляра (`instance`) цього модуля в старший по проектній ієрархії модуль зі змінним значенням «константи». Іншими словами, якщо молодший модуль (наприклад, лічильника) був описаний через конструкцію `# (parameter SIZE = 4)` в заголовку модуля, то за замовчуванням він буде чотирирозрядний. Однак при включенні екземпляра цього модуля в старший за проектною ієрархії модуль можна легко перевизначити розрядність лічильника, що «викликається», замінивши значення «константи». Зрозуміло, сама параметризований модуль повинен бути написаний так, щоб зміна величини `parameter` не приводила до логічних помилок. У Verilog також є ніша нормального використання констант, що дає змогу використання тематично (контекстно) зрозумілих імен замість безликих цифр за допомогою того ж ключового слова `parameter`, розташованого поза заголовка.

Трохи пояснимо поділ двох основних типів `wire` ↔ `reg` в Verilog. При проектуванні «безпроцесорних» цифрових схем (тобто схем, де відсутній процесор, що керує всіма переміщеннями і змінами даних) у розробника є невеликий арсенал функціональних вузлів у вигляді регістрів (стробованих або фронтом, або рівнем) і комбінаційних схем (зібраних на найпростіших транзисторних схемах «І» та «АБО», званих в англійській літературі AND-, OR gates). При такому підході комбінаційні схеми не тільки виконують математичні операції, але і здійснюють маршрутизацію даних, поєднуючи виходи одного регістра з входом іншого (так як в таких схемах немає «всевидючого старшого брата» у вигляді процесора, що забирає дані з одного порту і відправляє в інший). Очевидно, таке компонування цифрових схем без «старшого брата» дозволяє організовувати паралельну обробку сигналів, втрачаючи в універсальності схеми. Таким чином, засоби з'єднання чи комутації та проміжного реєстрового зберігання в рівній мірі поділяють від-



повідальність за працездатність схеми, зміщуючи акцент в поділі використовуваних типів в напрямку ланцюг ↔ регістр (або wire ↔ reg), замість традиційного напрямку, що розділяє форми зберігання даних і їх обробку (наприклад, цілі, речові, комплексні, строкові та ін.). З огляду на те, що «правильність» виконуваних математичних операцій ніхто не відміняв, то при такому погляді за правильністю використання типів повинен стежити не стільки компілятор (наприклад, щодо відповідності типів в операціях присвоювання), скільки сам HDL-програміст, додаючи ключове signed до базових типів wire або reg, щоб змінити відповідну комбінаційну схему (наприклад, акумулятор знакових цілих чисел замість беззнакових).

Тут доречно згадати ситуацію кінця 90-х минулого століття, коли в руках вітчизняного розробника були мікросхеми низького ступеня інтеграції (K155, K176, K555, K561 та ряд інших серій) разом з обмеженим доступом до мікропроцесорних комплектів (K580, K1810 та ін.) і пов'язаними з ними мікросхемами пам'яті (K565 та ін.). В таких умовах досить прості схеми (годинник, таймери, частотомери, секвенсори та ін.) було простіше робити з мікросхем низького ступеня інтеграції. З появою досить ємних мікросхем ПЛІС, які з надлишком рясніють базовими логічними блоками, із приблизно схожими функціональних вузлів мікросхем низького ступеня інтеграції, ситуація в деякому сенсі знову повернулася до кінця 90-х, коли схему можна збирати з мікросхем «старої і доброї» ТТЛ серії (K155 і K555), просто поєднуючи контакти в графічному редакторі. Для «патріотів» цієї серії (або 74 серії у закордонних виробників) деякі виробники схемосинтезаторов надають можливість їм «згадати молодість» і малювати чи розробляти свою схему прямо в функціональних вузлах зазначених серій. Зокрема, така можливість є в САПР Quartus II. Правда, без підживлення у вигляді реальної роботи з морально застарілими ТТЛ-мікросхемами і постійно зростаючими вимогами до швидкості розробки такий підхід до розробки схем виглядає в даний час архаїчним.

Зрозуміло, охопити одним поглядом весь спектр можливих електричних (логічних) схем і тим більше уявити їх в одному посібнику не представляється можливим, тому згадаємо лише один напрямок, що бурхливо розвивається — цифрову обробку. Вона безпосередньо пов'язана з тим фактом, що дешеві мікросхеми АЦП / ЦАП просто «заполонили» майже всі випущені нині електричні схеми. Видалення «зайвої» інформації (виділення необхідної) на виході АЦП стало звичайною практикою більшості цифрових схем. Найпоширенішим вузлом таких систем стали цифрові фільтри. Схема практично будь-якого цифрового фільтра

являє яскраву ілюстрацію комбінації регістрів (паралельних і зсувних) і комбінаційних схем (суматорів, перемножителів).

Завершуючи цю інформацію про типи HDL-мов, повторюємо, що в мові Verilog базовими типами є `wire` та `reg` з відповідними усталеними назвами ланцюга і регістри. Значеннями змінних даного типу є значення реально присутні на виходах цифрових схем: логічні 0 і 1, і необов'язковий стан високого імпедансу  $Z$  (тільки для буферів і тільки в схемі самого верхнього рівня з зовнішніми контактами-портами). Крім них використовується значення невідомого стану  $X$ , безпосередньо не існуючого на виходах реальних схем. Воно потрібно HDL-програмісту головним чином для вказівки нейтральних станів схеми на тих контактах (реєстрових змінних) проектованої схеми, де компілятор чи схемосинтезатор виставить або на 1, або на 0, виходячи із завдань оптимізації схеми при її синтезі. Інший варіант використання стану  $X$  — це вказівка тих входів, чиє значення не надає вплив на роботу схеми, що розробляється

У мові Verilog крім згаданих вище типів `wire`, `reg`, `parameter` і `integer` є й інші типи (з відповідними їм можливими значеннями), які ми тут не розглядаємо через відносну рідкість використання або причетності їх до інших додатків мови — тестування схем. Відзначимо лише похідні типи, найпростіші `wire` та `reg`. Це масиви ланцюгів (шини або багаторозрядні (векторні) ланцюги) і масиви регістрів (реєстрова пам'ять). Останню не потрібно плутати з «повноцінною» пам'яттю (пам'ять з довільним доступом, або RAM — `random access memory`), що є супутницею процесорів — масивом регістрів (комірок пам'яті) з вбудованим оптимальним швидкодіючим дешифратором адреси регістра (або комірки пам'яті). За допомогою схемосинтезатора по Verilog-коду можна організувати різноманітний доступ до окремих регістрів масиву регістрів, від уже згаданого довільного доступу до послідовного, коли інформаційний потік проходить всі регістри, з'єднані послідовно при подачі тактових імпульсів. Для схем з такими послідовно включеними регістрами використовується кілька назв: FIFO-буфер, багаторозрядні лінія затримки.

Якщо на мові Verilog створювати повноцінну RAM пам'ять (масив регістрів разом з дешифратором), то через структури базових логічних блоків (комірок) у найпопулярнішій нині FPGA-топології в конкретній ПЛІС буде створена незграбна громіздка структура з регістрів і мультиплексорів, що нестримно розростається з зростанням обсягу RAM-пам'яті. З огляду на те, що RAM-пам'ять — це дуже затребуваний елемент в цифрових схемах з високими вимогами до швидкодії (особливо

на стику інтерфейсів), розробники ПЛІС крім базових логічних блоків (осередків) розміщують на кристалі «острівці» пам'яті з вбудованим дешифратором адреси в «океані» базових логічних блоків (осередків). Для таких ПЛІС схемосинтезатор повинен вміти ідентифікувати в Verilog-коді традиційну пам'ять і використовувати в якості неї ті самі острівці (вносячи в проект залежність від апаратної платформи і знижуючи переносимість проекту на іншу ПЛІС), а не «пухку» схему з базових логічних блоків (осередків) з неефективним використанням елементів. Відзначимо, що з базових логічних блоків (осередків) більш-менш оптимально створюються зсувні лінії затримки, що активно використовуються в цифровій обробці сигналів.

#### **5.4 Реалізація комбінаційної логіки**

Комбінаційні логічні ланцюги зазвичай використовуються як в лініях даних, так і в лініях управління в більш складних системах. Вони можуть бути створені чи змодельовані по-різному, використовуючи оператори безперервного присвоювання (*continuous assignment statements*), які включають вираження з логікою, арифметичними операторами і операторами порівняння. Відмінною особливістю безперервного присвоєння є негайна зміна стану ланцюга (*wire*) при зміні стану вхідних ланцюгів, що впливають на неї. Всі оператори безперервного присвоєння завжди починаються з ключового слова *assign*. Як згадувалося вище, ланцюги (*wire*) є засобами з'єднання та комутації між регістрами (або, правильніше, між блоками, які виконують різні функції), тому код, що починається з ключового слова *assign*, є елементом структурного опису розроблюваної схеми.

Для функціонального або поведінкового опису в мові Verilog передбачені розглянуті нижче блоки *always*. Є, правда, й інші варіанти функціонального опису — це блоки завдань (*task*) та функцій (*function*), що дозволяють структурувати код в стилі створення підпрограм в звичайних мовах програмування з приблизною відповідністю до паскалівських *procedure* і *function* (правда, з більш довільним розташуванням їх в тілі програми).

Крім виразів з операторами порівняння комбінаційні логічні ланцюги можуть бути також визначені, використовуючи умовні оператори (*if* і *case*). Комбінаторна логіка, що задається в Verilog HDL, використовує блоки *always*, які описують виключно комбінаторну поведінку, тобто поведінку, що не залежить від фронтів тактових імпульсів, використовуючи оператори процедурного (послідовного) присвоєння (*procedural (sequential) statements*). Відмінною особливістю про-

цедурного присвоєння є те, що зміна стану реєстрової змінної (reg) відбувається тільки під управлінням певної процедури, яку в Verilog уособлює як блок always.

Обидва ці види операторів повинні бути поміщені в тілі модуля так, як в наступному шаблоні:

```
module module_name(ports);  
....  
[continuous_assignments] [always_blocks]  
....  
[continuous_assignments] [always_blocks]  
.... endmodule;
```

или более точно

```
module module_name(ports);  
....  
[assign operator] // структурний опис  
[assign operator]  
[always_blocks] // поведіковий опис  
....  
[assign operator]  
[assign operator] [always_blocks]  
.... endmodule
```

## 5.5 Логічні й арифметичні вирази

І логічні, і арифметичні вирази можуть бути реалізовані на кремнієвому кристалі ПЛІС, використовуючи логічні, порівняльні (відносні) і арифметичні оператори. Вирази приймають форму безперервних присвоєнь (або призначень в англійському варіанті — continuous assignments) інформації потокового типу. Під безперервністю присвоєнь тут, в першу чергу, розуміється «незалежність» таких присвоєнь від тактових імпульсів, характерна будь-якої комбінаторної логіки. «Залежність» від тактових імпульсів в електричних схемах реалізується різними тригерними і реєстровими схемами.

Логічні оператори

Стандартні логічні оператори Verilog можуть використовуватися, щоб синтезувати комбінатійні схеми. Приклади 1 і 2 реалізують логічні оператори.

Наведені приклади є повністю закінченими і працездатними модулями. Іншими словами, текст Verilog-коду без ключових слів `module` і `endmodule` НЕ компілюватиметься (не оброблятиметься схемосинтезатором). Після ключового слова `module` йде його ім'я (ідентифікатор), яка призначається HDL програмістом, з подальшим перерахуванням вхідних і вихідних портів модуля, які після синтезу схеми (і її подальшої прошивки в ПЛІС) вже можна буде називати вхідними та вихідними портами (контактами) розробленої схеми. Така відмінність між модулем і схемою вказано не випадково, так як схемосинтезатор завжди займається оптимізацією схеми і в кінці синтезу видаляє входи і внутрішні сигнали (ланцюга і регістри), від яких нічого не залежить. З цієї причини синтез схеми буде неможливий, якщо в оголошенні модуля відсутні вихідні сигнали. Внутрішні сигнали (ланцюга і регістри) і схеми, що їх формують, можуть бути видалені в остаточній схемі просто через надмірності, виявленої при оптимізації схеми.

Приклад 1. Мовна конструкція для синтезування простої логіки з однобітовими входами.

```
module logic_operators
  ( input a, b, c, d, // оголошення вхідних портів або входів output y); // оголошення вихідних портів або виходів wire e; // оголошення внутрішнього ланцюга, необхідної для роботи схеми і не є вхідним / вихідним портом assign y = (a & b) | e; assign e = (c | d) ; endmodule
```

Схема, що відповідає цьому прикладу, показана на рис. 5.1. Відзначимо, що схемосинтезатор видалив при синтезі схеми внутрішній сигнал (ланцюг) разом з схемою 2АБО, що її формує, замінивши останню на загальну схему 3АБО

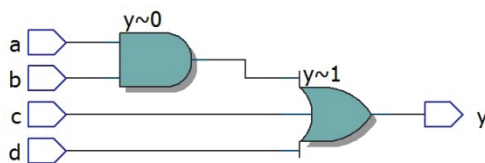


Рис. 5.1 — RTL-схема, що відповідає прикладу 1

Приклад 2. Мовна конструкція для синтезування простої логіки з чотирирозрядними шинами або векторними (багаторозрядними) входами.

```
module logic_operators_2
  (input [3:0] a, b, // оголошення вхідних векторних портів output [3:0] y, // оголошення вихідного векторного порту output z);
```

```

assign y = a & b; // bit-wise AND assign z = & y; //
reduction AND endmodule

```

Необхідно звернути увагу, що по відношенню до шин (ам) оператори AND і OR можуть бути як бінарними (або побітові) операторами, так і унарними (або редукційними). Їх відмінність легко зрозуміти по рис. 5.2, дивлячись на вихідні сигнали: шину  $y$  і однобітовий сигнал  $z$ .

Схема, що відповідає цьому прикладу, показана на рис. 5.2.

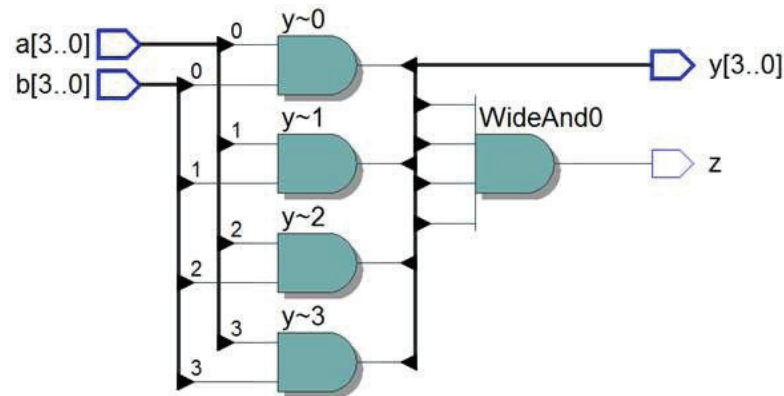


Рис. 5.2 — RTL-схема, що відповідає прикладу 2

Стосовно до шин (векторними входами / виходами) тут необхідно згадати дуже корисну операцію конкатенації, що дозволяє за допомогою фігурних дужок об'єднати безліч сигналів в загальну шину Гнучкість операції конкатенації надає можливість багаторазового тиражування заданої комбінації сигналів. Пояснює приклад  $\{a, b, c, \{3 \{d, e\}\}\}$ ,

що є економною записом «повного» виразу

$\{a, b, c, d, e, d, e, d, e\}$

Приклад формального об'єднання декількох однорозрядних в одну багаторозрядні шину для зменшення коду в операції безперервного присвоєння (призначення)

wire a, b, c; // оголошення внутрішніх ланцюгів, які не є вхідними / вихідними портами assign  $\{a, b, c\} = 3'b010$ ;

що еквівалентно трьом записам

assign a = 1'b0; assign b = 1'b1; assign c = 1'b0;

Інший приклад безперервного присвоєння (призначення) за допомогою конкатенації багаторозрядної шини (векторної ланцюга)

wire [3:0] a; // оголошення внутрішньої 4-х розрядної шини, котра не є вхідною / вихідною портовою шиною wire b, c;

```
assign a = {1'b0, b, 1'b1, c};
```

що еквівалентно чотирьом записам

```
assign a[0] = c; assign a[1] = 1'b1; assign a[2] = b; assign a[3] = 1'b0;
```

Оператори рівності

Прості оператори визначення рівності (« $=$ ») і (« $!$ ») визначені для всіх типів. Добутий результат для всіх цих операторів є булевим. І хоча формально такий тип в Verilog відсутній, проблем з булевими даними немає, так як для цифрових (електричних) схем з їх народженням було прийнято пов'язувати логічну 1 (висока напруга) з булевим значенням True, а логічний 0 (низька напруга) — з False. Просте порівняння (так само і не дорівнює) апаратно легше здійснити, ніж оператори ранжування. Приклад 3 ілюструє використання оператора рівності, щоб порівняти два 4-бітових вхідних вектора (дві 4-розрядні шини). Відповідне схемне зображення представлено на рис. 5.3.

Приклад 3. Синтезована логіка операторів порівняння.

```
module relational_operators_1  
(input [3:0] a, b, output y); assign y = (a == b); endmodule
```

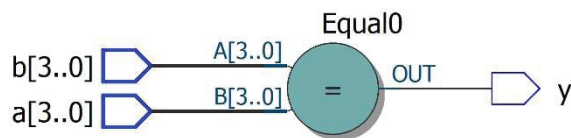


Рис. 5.3. RTL-схема, що відповідає прикладу 3

Приклад 4 використовує оператор, «більше або дорівнює» (« $>=$ »), і його схематична діаграма приведена на рис. 6.4.

Приклад 4. Синтезована логіка операторів порівняння.

```
module relational_operators_2  
(input [3:0] a, b, output y); assign y = (a >= b); endmodule
```

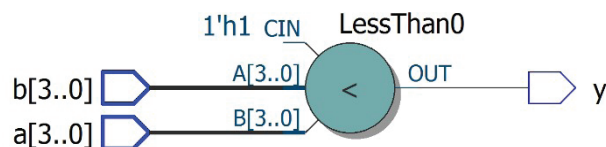


Рис. 5.4. RTL-схема, що відповідає прикладу 4

## Арифметичні оператори

Виконання цих операторів дуже залежить від технології на цільовому пристрої (конкретної ПЛІС). Приклад 5 ілюструє використання арифметичних операторів і круглих дужок, щоб управляти синтезується логічною структурою. Порівняння рис. 5а і 5б показує різницю між ланцюгами  $y1$  і  $y2$ , що мають однаковий арифметичний результат, але різні синтезовані схеми через перерозстановки пріоритетів виконання за допомогою дужок. Зверніть увагу, що схемосинтезатор «виявив» на обраній HDL-програмістом мікросхемі ПЛІС готові суматори з більшою розрядністю (16-розрядів) і заземлив зайві висновки (старші розряди).

Приклад 5. Застосування арифметичних операторів

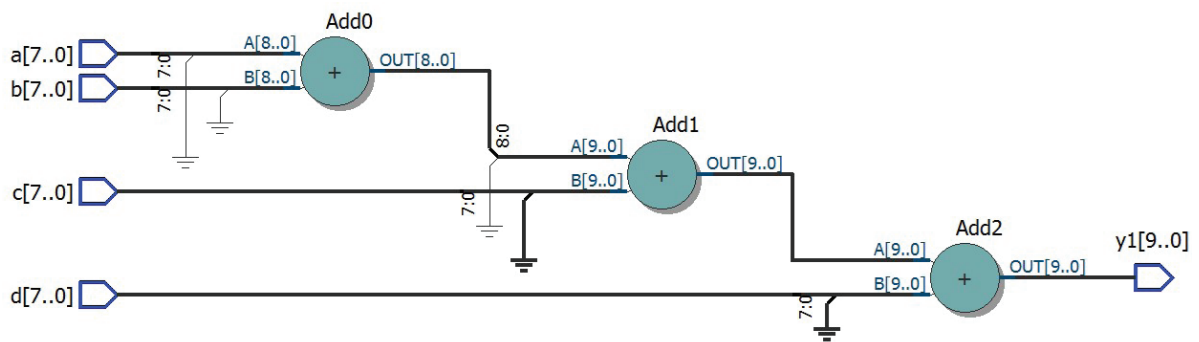
```
module arithmetic_operators
```

```
( input [7:0] a, b, c, d, output [9:0] y1, y2);
```

```
  assign y1 = a + b + c + d; assign y2 = (a + b) + (c + d);
```

```
endmodule
```

а)



б)

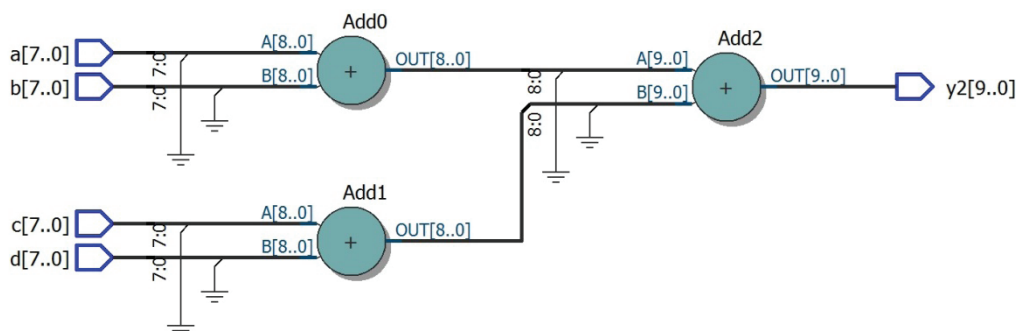


Рис. 5.5 — RTL-схема для прикладу 5: а) схема, що синтезується без вказівки пріоритетності виконання за допомогою дужок; б) схема, що синтезується із зазначенням пріоритетності за допомогою дужок



Інша можливість організувати арифметичні дії (без стробування тактовими імпульсами) полягає в тому, щоб укласти оператори присвоєння (призначення) значень сигналів в блок `always` з усіма вхідними сигналами в списку чутливості оператора `always` (нагадаємо це так зване процедурне призначення в рамках поведінкового опису). З точки зору синтезу схеми не буде жодної різниці. Однак моделювання (тимчасових затримок) може бути простішим, якщо блок `always` використовується для опису того ж самого ланцюга (вихідні сигнали  $y_1$  і  $y_2$ , правда, доведеться перевизначити як `reg`, а не `wire`, як було в прикладі 5). В цьому випадку приклад 5 може бути переписаний і представлений відповідно до опису, даним в прикладі 6. Синтезована логічна схема цього прикладу буде однаковою з прикладом 5.

Приклад 6. Використання конструкції `always` для опису арифметичної схеми. Зверніть увагу на те, що в даному прикладі використані операторні дужки `begin .. end` для включення декількох операторів в один `always` блок.

```
module arithmetic_operators_1 ( input [7:0] a, b, c, d, output reg [9:0] y1, y2);
always @(a or b or c or d) begin    y1 = a + b + c + d;    y2 = (a + b) + (c + d); end
endmodule
```

Умовна логіка

Verilog дає три типи операторів для створення умовної логіки:

оператор «if»,

оператор «case»,

тернарний оператор «?:» (працюючий і в безперервних, і в процедурних присвоєннях).

Приклад 7 ілюструє використання оператора «if» для створення умовної логіки. У цьому прикладі в коментарях показаний зразок використання тернарного оператора.

Приклад 7. Застосування умовних призначень сигналів

```
module condit_stmts_1 ( input [7:0] a, b, input sel, output reg [7:0] y);
always @(a or b or sel) begin    if (sel==1) y = b;    else    y = a;
// еквівалентний запис за допомогою тернарного оператора
// y = sel? b:a; end endmodule
```

Схема, згенерована вищенаведеним прикладом, показана на рис. 5.6. Як бачимо — це множинний мультиплексор 2-в-1 (8 копій однорозрядного мульти-

плексора). Перетворення оператора `if` в мультиплексор 2-в-1 — це стандартний хід HDL-схемосинтезатора (виняток становлять буферні елементи, що мають високоімпедансне Z-стан, див. Нижче). Особливості роботи схемосинтезатора вимагають від HDL-програміста підвищеної уваги до роботи оператора `if`: якщо ви не скористаєтеся другою гілкою оператора, то замість мультиплексора отримаєте тригер, керований рівнем. Іншими словами, схемосинтезатор не йде по лінії простого ігнорування не зазначеної в коді гілки оператора `if`, а просто замість мультиплексора встановлює тригер, керований рівнем (див. приклад 15). При такому підході для відсутньої гілки оператора `if` на виході пристрою (або тієї змінної, що вказана в існуючій гілці оператора `if`) зберігається останнє значення, стає при останньому активному стані селектора.

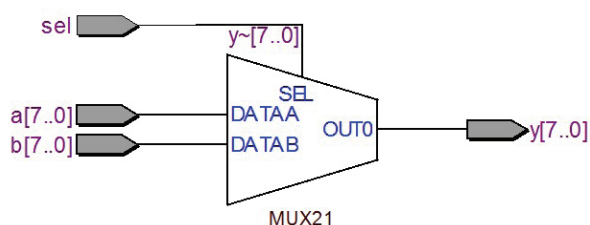


Рис. 5.6. RTL-схема, згенерувала на основі коду в прикладі 7 із застосуванням умовного оператора `if`.

Приклад 8 показує варіант використання оператора `case` для створення мультиплексора. Всі можливі комбінації повинні використовуватися для обраних призначень сигналу. Програміст чи проектувальник може переконатися в цьому при використанні гілки `default` у операторі `case` (гілка оператора `case` за замовчуванням).

```

Приклад 8. Синтезування мультиплексора з використанням конструкції case
module condit_stmts_2 ( input a, b, c, d, input [1:0] sel, output reg y);
always @(sel or a or b or c or d)
case(sel)
0: y = a;
1: y = b;
2: y = c;
3: y = d;
default: y = a; endcase endmodule

```

Схема, що відповідає прикладу 8, показана на рис. 5.7. Видно, що тепер використовується мультиплексор вже не 2-в-1, а 4-в-1. Однак не варто думати, що саме такий мультиплексор буде задіяний на конкретній ПЛІС, так як його може не виявитися в її топології, і він буде замінений каскадом послідовних мультиплексорів 2-в-1.

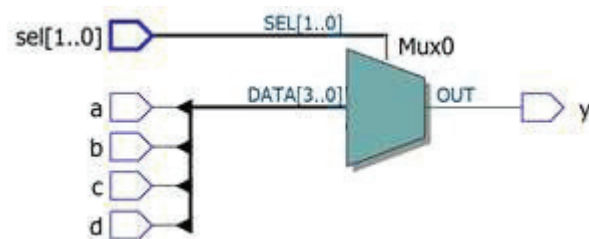


Рис 5.7. RTL-схема мультиплексора 4-в-1, що синтезується на основі коду прикладу 8

### 5.6 Логіка з трьома станами

Коли дані від багатьох джерел повинні бути спрямовані до одного або декількох приймачів, зазвичай використовуються або мультиплексори, або буфери з трьома станами на виході. Буфери з трьома станами реалізуються в Verilog з використанням умовних операторів:

оператор if,

оператор case,

тернарний оператор «?:»(працюючий і в безперервних, і в процедурних присвоєння).

Буфер із трьома станами має на увазі присвоєння високоімпедансного значення <Z> об'єкту даних в спеціальній гілці умовного оператора. У разі моделювання багатьох буферів, які пов'язані з одним і тим же виходом, кожен з цих буферів повинен бути описаний в окремому паралельному операторі. Приклад 9 показує чотирибітний буфер з трьома станами, що задається тернарного оператором (? :).

Приклад 9. Синтезування буфера з трьома станами

```
module tbuf4 ( input [3:0] a, input enable, output reg [3:0] y);
assign y = enable? a: 4'bZ;
endmodule
```

```

Аналогічний результат може бути досягнутий з використанням оператора if:
module tbuf4 ( input [3:0] a, input enable, output [3:0] y, reg [3:0] y);
always @(enable or a) if (enable == 1) y = a;
else y = 4'bZ;
endmodule

```

Схема, що відповідає прикладу 9, показана на рис. 5.8.

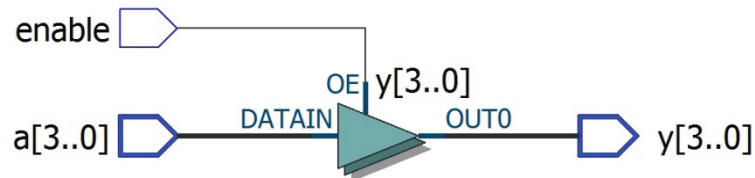


Рис. 5.8 RTL— схема буфера з трьома станами, що синтезується на основі коду прикладу 9

### 5.7 Приклади типових комбінаційних блоків

В цьому підрозділі представлено ряд стандартних комбінаційних блоків і різні способи опису їх в Verilog-кодi. Ці блоки зазвичай представляють конструкції, які використовуються для формування більш складних цифрових проектів. Всі ці проекти легко піддаються зміні, щоб задовольнити потреби специфічного застосування. Різні підходи до синтезу та моделювання використовуються, щоб продемонструвати гнучкість і міць Verilog.

Приклади 10а і 10б показують дві різні поведінкові архітектури шифратора 8на-3. Перша архітектура використовує оператор if, в той час як друга використовує оператор case всередині блоку always. Використання оператора if вводить великі затримки, тому що має на увазі обчислення виразу для сигналів (при моделюванні роботи схеми) в тому порядку, в якому вони з'являються в моделі (вираз в кінцевій гілці оператора if обчислюється останнім). Тому рекомендується використання оператора case. Це також забезпечує кращу читабельність. Відзначимо той же прийом схемосинтезатора — замінювати оператори if на мультиплексори 2-в-1 (в даному випадку на каскад послідовних мультиплексорів).

#### Приклад 10а. Шифратор 8-на-3

```

module encoder83 ( input [7:0] a, output reg [2:0] y); always @(a) begin if (a == 8'b00000001) y = 0;

```

```

else if(a == 8'b00000010) y = 1;
else if (a == 8'b00000100) y = 2;
else if ( a == 8'b00001000) y = 3;
else if ( a == 8'b00010000) y = 4;
else if ( a == 8'b00100000) y = 5;
else if ( a == 8'b01000000) y = 6;
else if (a == 8'b10000000) y = 7;
else y = 3'bX; end
endmodule

```

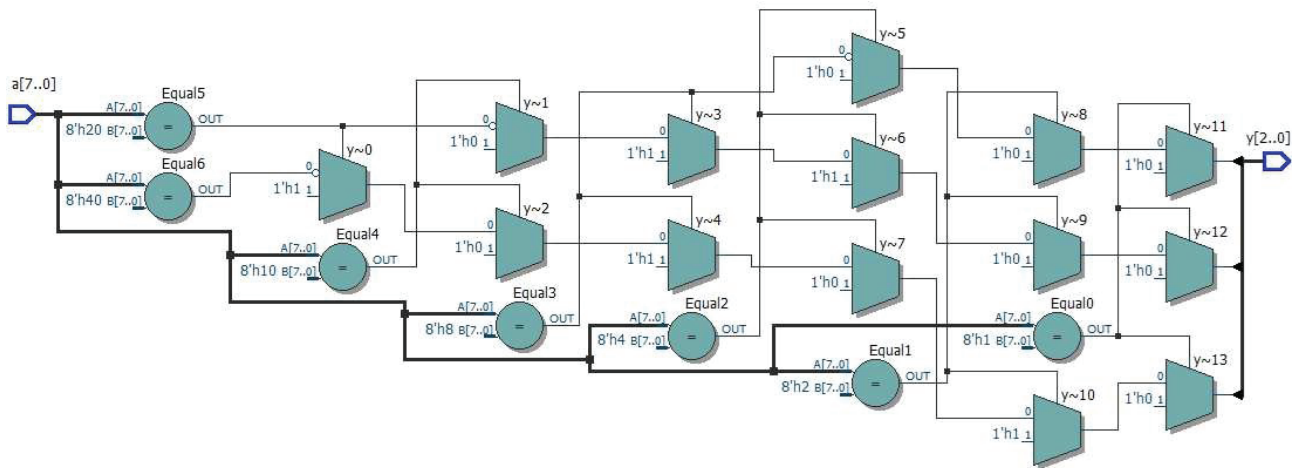


Рис. 5.9. RTL— схема, згенерована на основі коду прикладу 10а

### Приклад 10б. Шифратор 8-на-3

```

module encoder83 ( input [7:0] a, output reg [2:0] y); always @(a) begin
case(a)
8'b00000001: y = 0;
8'b00000010: y = 1;
8'b00000100: y = 2;
8'b00001000: y = 3;
8'b00010000: y = 4;
8'b00100000: y = 5;
8'b01000000: y = 6;
8'b10000000: y = 7;
default: y = 3'bX;
endcase
end
endmodule

```

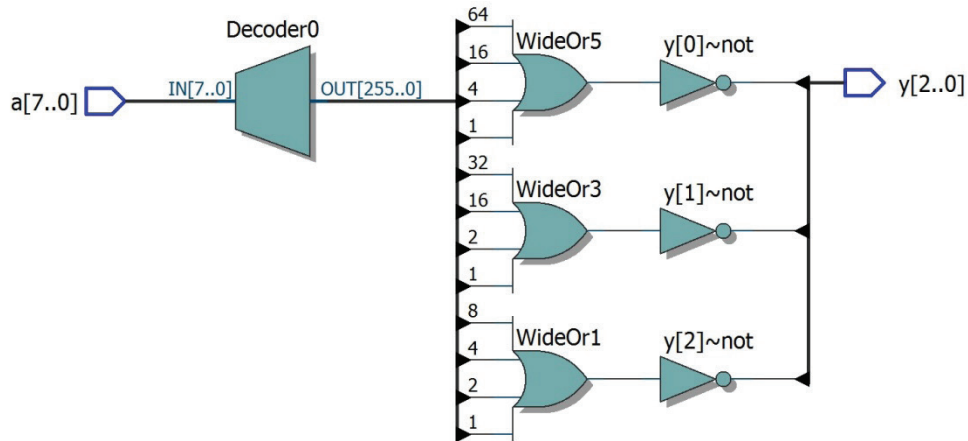


Рис. 5.10. RTL— схема, згенерована на основі коду прикладу 10б

Наступна модель пріоритетного шифратора 8-3, представлена в прикладі 11, використовує оператор `for`, щоб описати його поведінку. Вихідний порт `valid` вказує, що є, як мінімум, один вхідний біт зі значенням логічної 1. Відзначимо, що оператор `for` не має звичайного для мов програмування процесорів сенсу прямого повторення дій при обробці вхідного сигналу. Тут оператор `for` несе лише відтінок пошарового нарощування числа елементів (операторів) при синтезі схеми (але не під час її роботи після синтезування), вкладених в оператор `for` з урахуванням пріоритету (порядку) виконання повторюваних операцій. Зокрема, в даному випадку схемосинтезатор наростив шари мультиплексорів (від операторів `if`) до 7 з урахуванням пріоритету виконання.

Приклад 11. Пріоритетний шифратор 8-на-3

```

module priority83 ( input [7:0] a, output reg [2:0] y, output reg valid); integer N;
always @(a) begin valid =0; y = 3'bX;
for (N=0; N<=7; N=N+1)
if (a[N]) begin y = N;
valid = 1;
end
end
endmodule

```

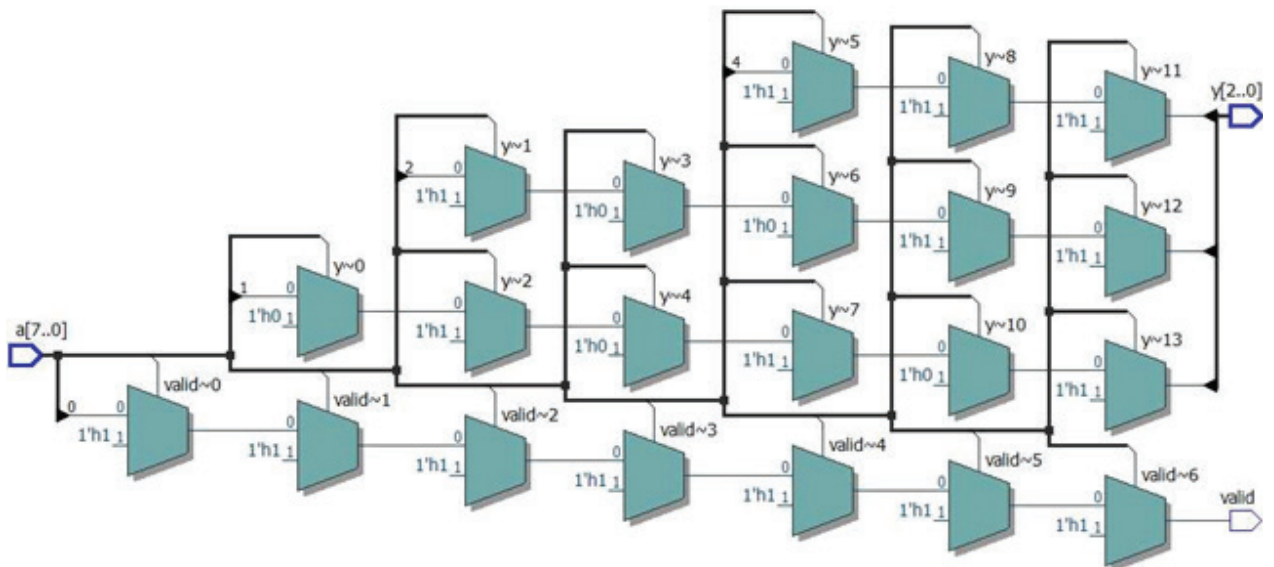


Рис. 5.11. RTL— схема, згенерована на основі коду прикладу 11

Приклад 12 показує дешифратор 3-на-5, описаний оператором циклу for, який багаторазово «виконує» оператор if (деяким чином розмножує оператор if, щоб отримати схему, подібну до прикладу 10а, але при цьому оператор if записаний тільки один раз), коли перші п'ять варіантів вхідної шини а перебираються за допомогою змінної N в зазначеному порядку (заданої пріоритетності).

```

Приклад 12. Двійковий дешифратор 3-на-5 з входом дозволу
module decoder35 ( input [2:0] a, output reg [4:0] y); integer N;
always @(a) begin
for (N=0; N<=4; N=N+1)
if (a == N) y[N]=1;
else y[N]=0;
end
endmodule

```

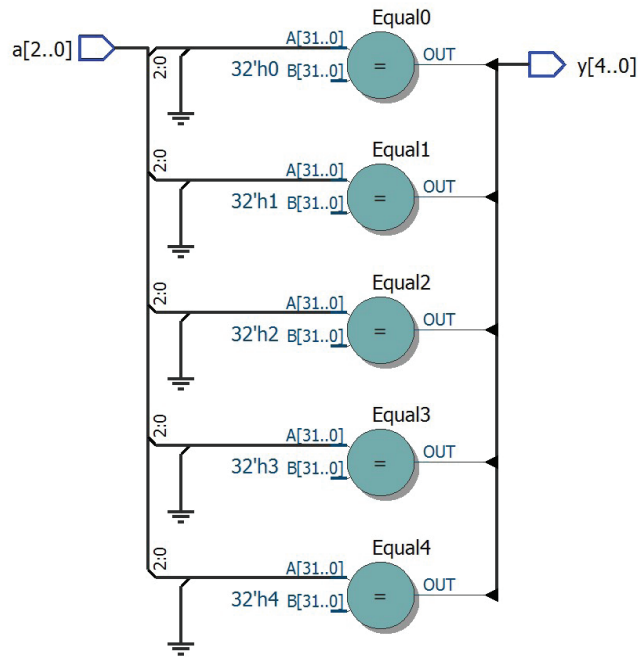


Рис.5.12 — RTL-схема, згенерована на основі коду прикладу 12

## 5.8 Висновки

### 1. Загальні відомості про мову програмування Verilog HDL

Незважаючи на те, що в даний момент інформація про базові конструкціях мови Verilog HDL широко представлена і в російськомовних книгах, і в інтернет-документах, вона по більшій мірі є загальнотеоретичною і не містить прикладів конкретних практично реалізованих цифрових схем.

### 2 Специфікація Verilog HDL в середовищі розробки Quartus II

Verilog HDL є модульним мовою високого рівня, яка повністю інтегрована в середу розробки Quartus II. Файли проекту Verilog (з розширенням \*.v) можуть бути створені, використовуючи існуючий текстовий редактор Quartus II. Потім вони можуть бути відкомпільовані і промодельовані перед завантаженням в ПЛІС Altera.

### 3 Типи даних, що використовуються в мові програмування Verilog HDL

Важливою складовою будь-якої мови програмування є типи даних. Унаслідок широкого поширення процесорів разом з пов'язаними з ними мовами програмування за типами даних в масовій свідомості закріпився сукупний образ форм зберігання та представлення інформації з можливими видами операцій над ними. Так, для зберігання чисел цілого типу використовується двійковий ваговий код певної розрядності, а для виконання операцій над ними — бібліотека цілочисельних обчислень і порівнянь.



#### 4. Реалізація комбінаційної логіки

Комбінаційні логічні ланцюги зазвичай використовуються як в лініях даних, так і в лініях управління в більш складних системах. Вони можуть бути створені чи змодельовані по-різному, використовуючи оператори безперервного присвоювання (continuous assignment statements), які включають вираження з логікою, арифметичними операторами і операторами порівняння. Відмінною особливістю безперервного присвоєння є негайна зміна стану ланцюга (wire) при зміні стану вхідних ланцюгів, що впливають на неї.

#### 5 Логічні й арифметичні вирази

І логічні, і арифметичні вирази можуть бути реалізовані на кремнієвому кристалі ПЛІС, використовуючи логічні, порівняльні (відносні) і арифметичні оператори. Вирази приймають форму безперервних присвоєнь (або призначень в англійському варіанті — continuous assignments) інформації потокового типу. Під безперервністю присвоєнь тут, в першу чергу, розуміється «незалежність» таких присвоєнь від тактових імпульсів, характерна будь-якої комбінаторної логіки. «Залежність» від тактових імпульсів в електричних схемах реалізується різними тригерними і регістровими схемами.

#### 6 Логіка з трьома станами

Буфер із трьома станами має на увазі присвоєння високоімпедансного значення  $\langle Z \rangle$  об'єкту даних в спеціальній гілці умовного оператора. У разі моделювання багатьох буферів, які пов'язані з одним і тим же виходом, кожен з цих буферів повинен бути описаний в окремому паралельному операторі. Приклад 9 показує чотирибітний буфер з трьома станами, що задається тернарного оператором (? :).

#### 7 Приклади типових комбінаційних блоків

В цьому підрозділі представлено ряд стандартних комбінаційних блоків і різні способи опису їх в Verilog-кодi. Ці блоки зазвичай представляють конструкції, які використовуються для формування більш складних цифрових проектів. Всі ці проекти легко піддаються зміні, щоб задовольнити потреби специфічного застосування. Різні підходи до синтезу та моделювання використовуються, щоб продемонструвати гнучкість і міць Verilog.

## 6 СИНТЕЗ ОКРЕМИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВУЗЛІВ ВТОРИННОГО РАДІОЛОКАТОРА

### 6.1 Норми на параметри кода запиту

Норми на параметри коду запиту RBS (ICAO) передбачають чотири коди запиту: А, В, С і D (резервний код). Кожен код складається з імпульсів P1 і P3 (див. Рис. 4.1.1), інтервал між якими визначає смисловий зміст коду (табл. 4.1.1). До складу коду, як правило, включається імпульс придушення, який настає через  $(2 \pm 0,15)$  мкс після імпульсу P1. Тривалість ті імпульсу становить  $(0,8 \pm 0,1)$  мкс при тривалості фронту спаду  $\tau_f = 0,05 \dots 0,1$  мкс і  $\tau_{сп} = 0,05 \dots 0,2$  мкс. Інтервал між імпульсами P1 і P2 дорівнює  $(2 \pm 0,15)$  мкс, а точність витримування кодових інтервалів  $t_{к.з} = \pm 0,2$  мкс.

Таблиця 6.1 — Зміст кодів

Код запиту	Кодовий інтервал, тк.з., мкс	Інформаційний склад сигналу відповіді
А	$8 \pm 0,2$	Рейсовий номер ВС
В	$17 \pm 0,2$	Рейсовий номер ВС
С	$21 \pm 0,2$	Висота польоту
D	$25 \pm 0,2$	Не встановлено

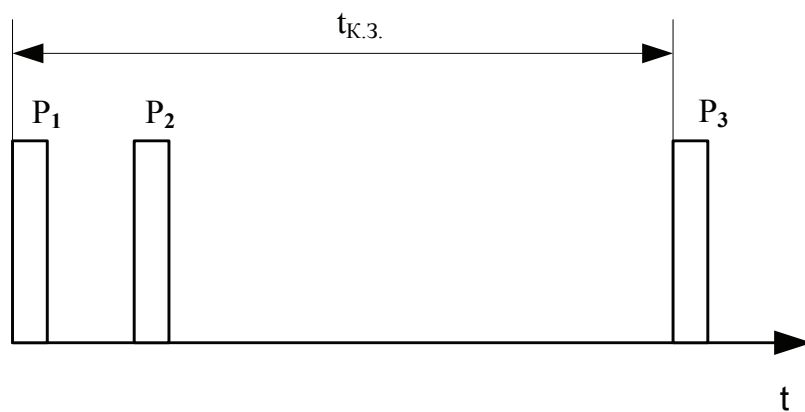


Рис. 6.1— Код запиту

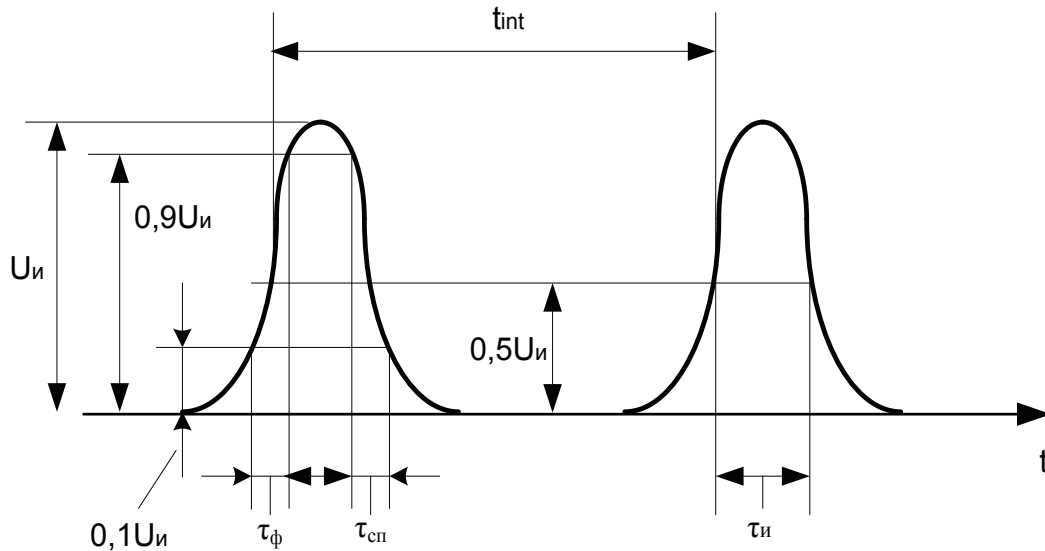


Рис. 6.2 — Форма імпульсів сигналу запиту і відповіді

## 6.2 Норми на параметри коду відповіді

Норми на параметри коду відповіді RBS (ICAO) регламентують склад координатних і інформаційних сигналів, а також способи передачі інформації за допомогою інформаційних кодів відповіді. Тривалість імпульсів сигналу відповіді  $\tau_{и} = 0,45 \pm 0,1$  мкс при  $\tau_{ф} = 0,05 \dots 0,1$  і  $\tau_{сп} = 0,05 \dots 0,2$  мкс. Допуск на часовий інтервал між імпульсами сигналу відповіді становить  $\pm 0,1$  мкс.

Координатний сигнал складається з опорних імпульсів F1 і F2 (рис. 6.3), інтервал між якими дорівнює 20,3 мкс. Що дозволяє розрізнити літаки, рознесені на 3 км по дальності.

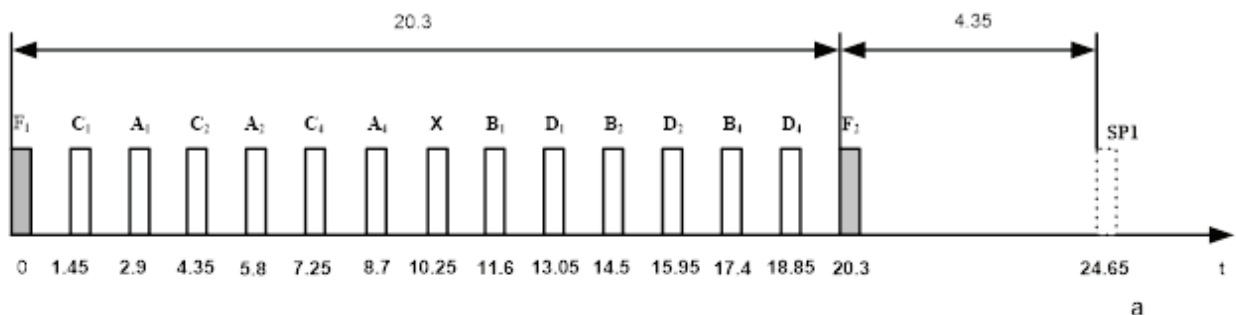


Рис. 6.3 — Коды відповіді RBS: структура кода; код номера рейсу (0732)

Інформаційний сигнал складається з 12 імпульсів, що розміщуються між опорними імпульсами. Інформаційні імпульси розбиті на групи (декади) А, В, С і D, кожна з яких містить по три імпульси А1, А2, А4, В1, В2, В4 і т.д. Для розміщення інформаційних імпульсів передбачено 13 тимчасових позицій, розташованих через кожні 1,45 мкс після імпульсу F1. Центральна позиція X зарезервована для використання в перспективних системах. У коді відповіді передбачена додаткова позиція (через 4,35 мкс після імпульсу F2) для передачі на вимогу з землі спеціального імпульсу розпізнавання SPI.

Інформація про номер рейсу ПС передається восьмирозрядним кодом. Тріади А, В, С і D призначені відповідно для передачі тисяч, сотень, десятків і одиниць. Максимальне число, яке може записано так само, буде 7777. Так як при восьмирозрядному коді передача чисел 8 і 9 неможлива, то загальне число номерів рейсів складе 4096. Відсутність будь-якого інформаційного імпульсу на відповідній позиції означає передачу символу «0» в даному розряді коду (наприклад, при передачі номера рейсу 732 будуть відсутні всі імпульси, крім В1, В2, В4, С1, С2 і D2).

Інформація про висоту польоту ПС. Для передачі швидкоплинної інформації про висоту міжнародними нормами затверджений для використання циклічний код Гіллхема, що представляє собою сукупність рефлексного тридекадного коду Грея і спеціального трирозрядного рефлексного коду Гіллхема. В результаті для сусідніх градацій висоти в футах коди розрізняються в одному розряді, що зменшує ймовірність помилок при накладенні цифрових значень висоти.

Рефлексний код Грея є поєднанням натурального коду Грея з дзеркальним. Принцип побудови натурального і дзеркального коду Грея наведено в табл. 6.2

Таблиця 6.2 — позначення десятичних чисел у вигляді натурального і дзеркального кода Грея

Десятичне число	Натуральний код Грея	Дзеркальний код Грея	Десятичне число	Натуральний код Грея	Дзеркальний код Грея
0	000	100	4	110	010
1	001	101	5	111	011
2	011	111	6	101	001
3	010	110	7	100	000

Натуральний код використовується при відсутності запису в сусідній, старшій декаді або під час запису в ній парного числа.

Принцип побудови спеціального трирозрядного рефлексного коду пояснюється табл. 6.3.

Таблиця 6.3 — Принцип побудови спеціального трирозрядного рефлексного коду

Висота, фут	Натуральний	Дзеркальний
0...100	001	100
100...200	011	110
200...300	010	010
300...400	110	011
400...500	100	001

Для передачі рефлексного коду Грея використовуються декади D, A, B сигналу відповіді, для передачі спеціального трирозрядного коду-декада C. Ціни градацій декад наступні: D-32000 фут; A-4000 фут; По-500 фут; 3-100 фут (нумерація розрядів зворотна).

Відлік висоти ведеться від залишкової висоти 1200 футів. Розглянемо структуру сигналу відповіді ПС, що летить на висоті  $H = 99850$  фут. На землю передається число  $H = 99850$  фут.

Число градацій старшої декади D визначають розподілом висоти на ціну градації декади D:  $99850: 32000 = 3$  (залишок 3850).

Число 3 записується у вигляді ( $D1 = 0$ ;  $D2 = 1$ ;  $D3 = 0$ ) натурального коду Грея, тобто (010).

Декада A записується у вигляді  $3850: 4000 = 0$  (залишок 3850). Записи нуля проводяться дзеркальним кодом Грея, оскільки в попередній декаді записано непарне число. Отже,  $A1 = 1$ ,  $A2 = 0$ ;  $A3 = 0$ .

Декаду B визначають у вигляді:  $3850: 500 = 7$  (залишок 350). Число 7 записується натуральним кодом Грея:  $B1 = 1$ ;  $B2 = 0$ ;  $B4 = 0$ . Декада 3 записується спеціальним рефлексним кодом в дзеркальному відображенні в відповідності з табл. 7.5:  $C1 = 0$ ;  $C2 = 1$ ;  $C3 = 1$ .

Спеціальні повідомлення передаються відповідачем при запиті кодами A і B. Кодова комбінація відповіді 7700 відповідає аварійному стану ЗС, 7600 — відсутності радіозв'язку, 7500 — незаконному втручання в дії екіпажу. Коди 0000 і 2000 зарезервовані для регіонального використання. Відповідні кодові комбінації для передачі номера рейсу не використовуються.

### **6.3 Порядок формування та використання номерів рейсів в авіакомпаніях СНД при УВД і забезпеченні польотів.**

Кожній зареєстрованій в СНД авіакомпанії при оформленні свідоцтва експлуатанта (перереєстрації) призначається однорядкове резюме код і встановлюється офіційна назва і радіотелефонний позивний (Вказівка від 12.05.94 ДВ — 63 / Н). Кожній зареєстрованій в ІКАО авіакомпанії при оформленні свідоцтва експлуатанта (перереєстрації) ФСВТ СНД призначає трисимвольний код (літерами латинського і російського алфавіту) і встановлюється офіційна назва і радіотелефонний позивний.

При виконанні польотів авіакомпаніями, офіційно зареєстрованими в ІКАО з правом виконання міжнародних польотів, формат позначення рейсу, що замовляється в ФПЛ і ППЛ наступний:

- при виконанні польотів в межах СНД за внутрішнім розкладом — ААА Х (Х) (Х), де ААА — присвоєний ФСВТ СНД трилітерний код авіакомпанії; Х (Х) (Х — одно — тризначний номер рейсу).
- при виконанні польотів в межах СНД поза розкладом — ААА ХХХХ, де: ААА -присвоєний ФСВТ СНД трилітерний код авіакомпанії; ХХХХ — чотиризначний номер рейсу від 9000 до 9999.

- при виконанні міжнародних польотів за розкладом і поза розкладом — ААА ХХХХ, де: ААА — присвоєний ІКАО трилітерний код авіакомпанії; ХХХХ — номер рейсу до чотирьох цифр від 0001 до 8999.

Для затриманих міжнародних рейсів з перенесенням часу вильоту на наступну добу за межі України, номер рейсу не змінюється, при цьому в поле 18 ФПЛ після скорочення «RMK /» записуються літери «FOR» і через пробіл чотири цифри (день і місяць), коли повинен був виконуватися рейс.

При виконанні польотів авіакомпаніями, які не зареєстровані в ІКАО та не мають права виконання міжнародних польотів, формат позначення рейсу, зазначених вище в ФПЛ і ППЛ, наступний:

- при виконанні польотів в межах СНД за внутрішнім розкладом — АА Х (Х) (Х) (Х), де: АА — призначений при реєстрації однорядкове резюме код авіакомпанії; Х (Х) (Х) (Х) — одне — чотиризначний номер рейсу від 0001 до 8999.
- при виконанні польотів поза розкладом або додаткового рейсу внутрішнього розкладу вводиться авіаперевізником на період до п'яти діб в межах СНД — АА ХХХХ, де: АА — призначений при реєстрації однорядкове резюме код авіакомпанії; ХХХХ — чотиризначний номер рейсу від 9000 до 9999 ..
- При затримці рейсу по внутрішньому розкладом з перенесенням часу вильоту на наступну добу до номера рейсу додається відповідно до дня тижня буква, за який повинен був виконуватися рейс:
  - П — понеділок            - Л — п'ятниця
  - М — вівторок            - Н — субота
  - С — середа                - Т — неділя
  - Р — четвер
- При формуванні додаткового рейсу внутрішнього розкладу, пов'язаного зі зміною типу ВС з метою збільшення кількості рейсів, до номеру рейсу додаються літери Б, Д, Г, Е, Ф.

#### **6.4 Кодування інформації в системах вторинної радіолокації**

У повідомленнях систем ВРЛ передається певний обсяг інформації про стан ПС, що кодується тим або іншим способом. Під час передавання інформації по каналу зв'язку «борт — земля» вона може спотворюватися під дією завад. У системі АТСРБС спосіб кодування відповідної інформації не передбачає можливості

виявлення і виправлення помилок під час декодування. Виходом з цієї ситуації є порівняння декількох відповідей, що надходять одна за одною і містять однакову інформацію. Розбіжність змісту відповідей свідчить про наявність помилок, збіг — про їх відсутність.

У системах ВРЛ із режимом S необхідний обсяг інформації по лініях зв'язку «вниз» і «уверх» може передаватися за допомогою тільки однієї відповіді або запиту. Тому в цьому випадку необхідно використовувати методи кодування інформації, які дозволяють виявляти і в разі потреби виправляти помилки під час декодування запитів або відповідей. Дискретне повідомлення, сформоване запитувачем або ЛВ, являє собою послідовність знаків, що беруться з певного обмеженого набору знаків кількістю  $M_{ал}$ , який називається первинним алфавітом. Для перетворення послідовності знаків дискретного повідомлення в первинний сигнал виконується кодування, тобто кожний знак повідомлення замінюється комбінацією з невеликої кількості стандартних символів, що утворюють вторинний алфавіт, які потім перетворюються в електричні сигнали. Правило перетворення знаків первинного алфавіту в комбінації символів вторинного алфавіту називається кодом. Кількість символів, що утворюють вторинний алфавіт, називається основою коду. Комбінація символів вторинного алфавіту, що відображає знак первинного алфавіту, називається кодовою комбінацією. Число, що характеризує кількість символів у кодовій комбінації, називається значущістю коду.

Розрізняють такі основні групи кодів:

- рівномірні коди, у яких всі кодові комбінації складаються з однакової кількості символів;
- нерівномірні коди, у яких кодові комбінації мають неоднакову кількість символів;
- прості коди, або коди без надлишковості — коди, у яких кількість знаків первинного алфавіту  $M_{ал}$  дорівнює загальній кількості кодових комбінацій  $M_0$  ( $M_{ал} = M_0$ );
- коригувальні, або коди з надлишковістю — коди, для яких справедливе співвідношення  $M_{ал} < M_0$ ;
- двійкові — коди, у яких вторинний алфавіт складається із символів 0 і 1.

Найбільш поширеними є двійкові рівномірні коди. Основа такого коду  $m$  дорівнює двом ( $m = 2$ ). Загальну кількість кодових комбінацій для рівномірного двійкового коду можна визначити за формулою:



$$M_0 = m \cdot n = 2^n .$$

Загальний принцип побудови коригувальних кодів полягає в тому, що із загальної кількості можливих кодових комбінацій  $M_0$  для передавання використовується лише необхідна частина  $M_{ал}$  ( $M_{ал} < M_0$ ). Використовувані кодові комбінації називаються дозволеними. Їх кількість становить  $M_{ал}$ . Інші ( $M_0 - M_{ал}$ ) комбінацій вважаються забороненими, тобто вони не можуть передаватися по каналу зв'язку і їх поява на прийомному кінці свідчить про наявність помилок у прийнятому повідомленні. Коди, що дозволяють виявляти й виправляти помилки, які виникають у каналі зв'язку через наявність завад, називаються коригувальними. Серед коригувальних кодів важливе місце займають систематичні коди. Систематичними називають двійкові рівномірні  $n$ -значущі коди, у яких сума за модулем 2 двох дозволених комбінацій знову дає дозволену кодову комбінацію. До групи систематичних належать

циклічні коди. Таким чином, основна властивість циклічних кодів полягає в тому, що циклічна перестановка символів дозвільної кодової комбінації дає знову дозволену кодову комбінацію. За циклічної перестановки символи кодової комбінації  $A_i$ , переміщуються зліва направо на одну позицію, причому крайній правий символ переноситься на місце крайнього лівого. Наприклад,

$$A_1 = 101101 \Rightarrow \text{циклічна перестановка} \Rightarrow A_2 = 110110.$$

## 6.5 Використання номера рейса

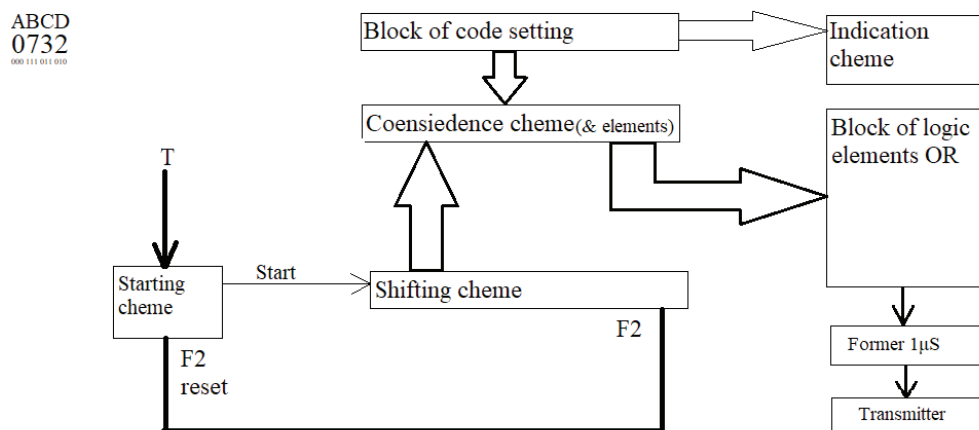


Рис. 6.4 — Структурна схема формувача коду рейса

Робота формувача кода рейсу за структурною схемою полягає в наступному: імпульс синхронізації зі схеми старту запускає схему зсуву (тобто записує одиницю в перший розряд зсувного регістру через схему & 0 котра завжди відкрита потенціалом +5 — імітація F1). При першому імпульсі зсуву сигнал з D0 проходить в тригер D1, при цьому D0 скидається в 0. Якщо в схемі набору коду, тобто в кодї номера присутній C1 (при нашому розглянутому номері 0732; C = 3; 011; C1 = 1), то зі схеми суміщення на блок «або» надходить імпульс (C1). Якщо C1 відсутній, то в структурі вихідного сигналу буде на виході «0» (тобто відсутність сигналу). З приходом другого імпульсу зсуву D1 обнуляється а D2 встановлюється в «1». При цьому, як в нашому прикладі (0732), запитується A1 і так як він дорівнює 0 на вихід схеми «або» сигнал не пройде. З приходом подальшого імпульсу D2 скидається в 0 а 1 перезаписується в D3, відкриваючи схему поєднання & 3 для проходження імпульсу на схему «або». І так далі з приходом чергових тактових імпульсів в регістр зсуву відбувається формування 12 розрядного коду номера рейсу. При установці «1» в D13 формується імпульс F2. Імпульси, що надійшли через схему «або», надходять на формувач 1мкс, так як імпульси що надійшли були тривалістю 1,45мкс, а нам необхідно тривалість імпульсу 1мкс. Далі сигнал з формувача надходить на передавальний пристрій. Імпульс з & 13 — F2 надходить на схему старту і скидає тригер D0 (схеми старту) в нульовий стан. Після цього схема зсувного регістру перестав працювати, сигнал коду номера вже сформований і черговий сигнал коду номера почне формуватися по приходу сигналу T зі схеми синхронізатора транспондера.

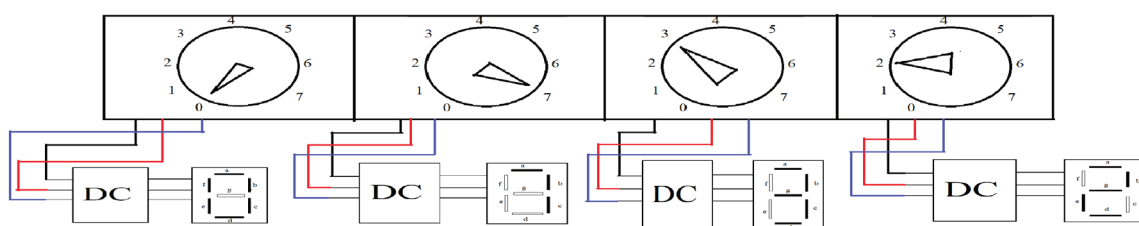


Рис. 6.5 — Модель пульта для набору бортового номера.

Після набору коду 0732 відповідна інформація піде на дешифратор і далі на управління семисегментними індикаторами. В нашому випадку 0732 з галетника А, або першою цифрою номера надходить сигнал 000. З другого галетника В надходить код 111 — при цьому відображається 7. З третього галетника надходить код 011 — при цьому відображається 3. І з 4 галетника надходить код 010 — при цьому відображається 2.

Для набору коду номера борту необхідно, як було описано раніше, чотири перемикачі, які мають 8 положень (так як використовується восьмирозрядний двійковий код). Натискання пілотом на вимогу диспетчера кнопки «Ident» («Знак»), що є на пульті керування відповідача, додає імпульс в код відповіді додатковий імпульс SPI, що в кінцевому підсумку приводить до особливого (окремим знаком, миганням, або кольором) підсвічування відмітки літака на екрані ІКО диспетчера. Розположення SPI відносно F2 дорівнює 4,35мкс Опорні імпульси F1 і F2 завжди наявні, а імпульс у позиції X доки не визначений. Інформаційні імпульси містяться у тих позиціях, де передаються логічні «1», і відсутні в тих позиціях, де передається логічний «0», тобто використовується амплітудно-імпульсна модуляція.

Цифровий дисплей складається з дешифратора та семисегментного індикатора. Із виходів перемикачів на входи дешифраторів надходять вісімкові коди, що відповідають певній цифрі, набраній на кожному з перемикачів.

Таблиця 6.4 — Приклади вісімкових і семисегментних кодів

Десятичне число	Вісімковий код			Код семисегментного індикатора						
	4	2	1	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0

Дешифратор в свою чергу перетворює вісімковий код в семисегментний і подає його на входи індикаторів. Приклади вісімкових і семисегментних кодів представлені в таблиці 6.4.

Кожен біт в семисегментному коді відповідає світлодіоду на індикаторі. В залежності від того який код надходить на індикатор засвічуються відповідні діоди. Приклад семисегментного індикатора наведений на рис. 4.6

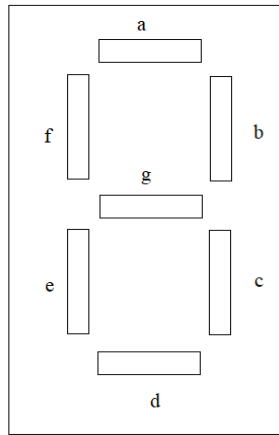


Рис. 6.6 — Семисегментний індикатор

В результаті на кожному із чотирьох індикаторів засвічуються відповідні світлодіоди, котрі формують певну цифру, а всі чотири індикатори формують номер рейсу.

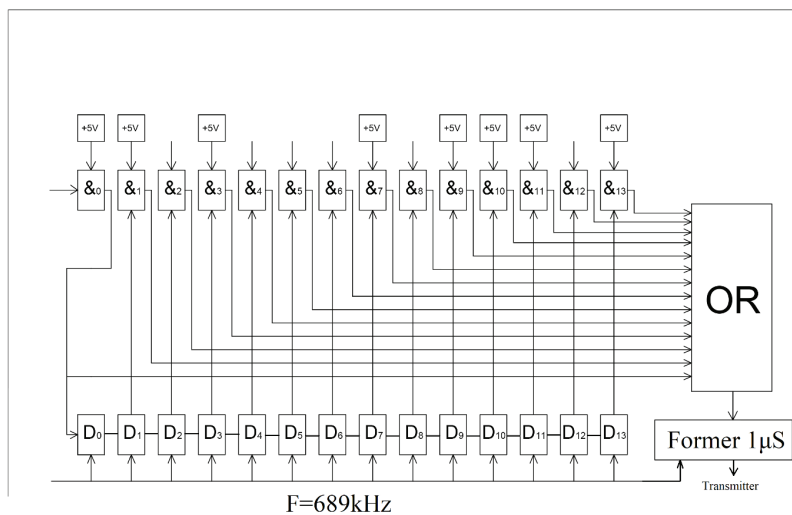


Рис. 6.7— Схема формування коду рейсу на логічних елементах

Схема формування коду рейсу (mode A RBS) працює наступним чином. По імпульсу запуску (IЗ) який приходить зі схеми синхронізації ТР0 встановлюється «1». Вихідний сигнал ТР0 позитивний імпульс — диференціюються схемою ДЦ (диференціювальний ланцюжок) і у вигляді імпульсу надходить в ТР1 (схема зсуву), де записується при приході першого  $F_{сд}$  (689кГц) підібрана таким чином, що з приходом кожного імпульсу  $F_{сд}$  записана в ТР1 «1» зсувається через 1,45мкс (відстань між імпульсами А, В, С, D mode A RBS) через всю лінію схеми зсуву. Таким чином «1» проходить через всі тригери схеми зсуву подаючи «1» сигнал з Q виходів тригерів на схеми П1 ... П13. На їх виходах створюються «1», які об'єд-

нуються на схемою АБО, а з виходів, які надходять на Формувач 1мкс імпульсів, утворюючи сигнал коду рейсу необхідної структури (тривалість імпульсів 1,45мкс). Імпульс «1» утворюється на тих позиціях (з 14) на яких з галетних перемикачів введення коду рейсу будуть надходити сигнали + 5V.

Приклад номера рейсу 0732 (ABCD).

Встановлюємо галетник А в положення «0» — з галетника + 5V сигнал не надходить на схеми І (I1 ... I13). Код 0 в восьмиричній системі буде виглядати як 000 і не передбачається в коді рейсу (позиції А1, А2, А3). Наступний розряд В = 7 (в вісімковий коді 111), при цьому на позиціях В1 (I7), В2 (I9), В4 (I11) будуть імпульси. С = 3 (в вісімковий коді 011) на позиціях С1 (I1) і С2 (I3) будуть імпульси. І нарешті D = 2 (010) на позиції D2 (i10) буде імпульс.

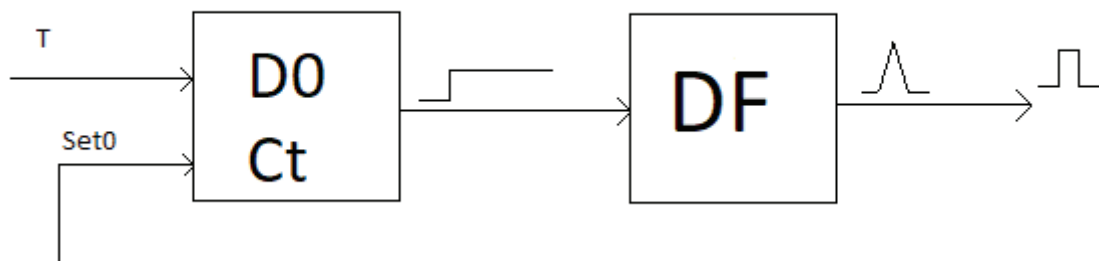


Рис. 6.8 — Схема старту на логічних елементах

Тобто з приходом I3 імпульс проходить через схему зсуву формуючи код рейса при появі на виході I13 «1» схема старту обнуляється і імпульс зсуву через I0 не запише «1» в TP1, чекаючи приходу чергового I3.

## 6.6 Структурна схема формувача коду рейсу на ПЛІС

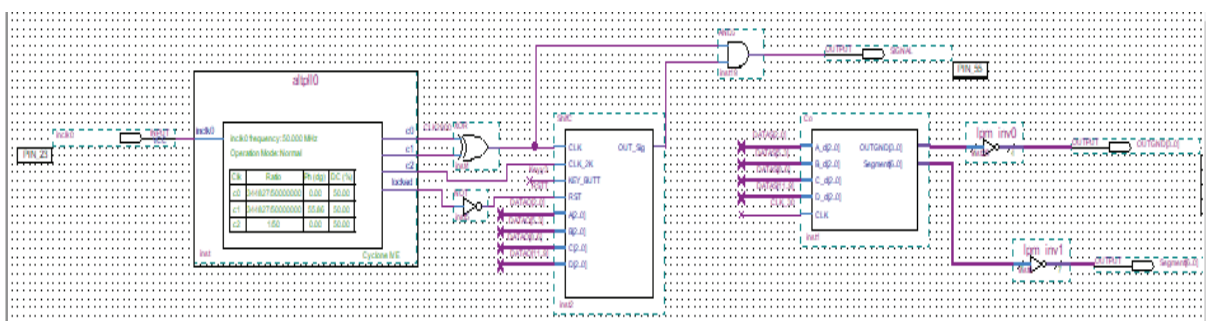


Рис. 6.9 — Схема формувача коду рейсу в програмному середовищі Quartus II

В даній схемі присутній блок ФАПЧ (фазового автопідстроювання частоти), який виконує роль схеми старту.

Пристрій ФАПЧ на ПЛІС — це спеціальний генератор зі схемою підстроювання частоти, котрий керується напругою (VCO — voltage-controlled oscillator). У генераторі реалізовано порівняння фаз сигналу вхідної частоти і сигналу вихідної частоти. Виміряна різниця фаз цих частот через зворотний зв'язок управляє частотою генератора, фіксуючи її на заданому рівні.

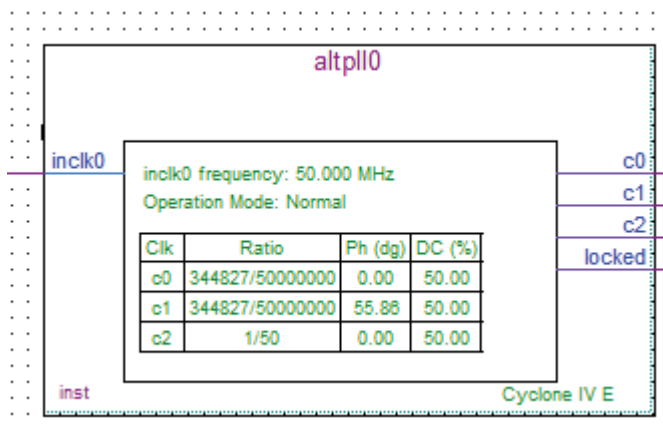


Рис. 6.10 — Блок ФАПЧ у програмі Quartus II

В сімействі Cyclone IV є влоштовані ФАПЧ (PLL), за допомогою яких можна згенерувати будь-яку частоту.

Розглянемо принцип його дії. На вхід PLL подається якась вхідна частота опорного генератора  $F_{in}$ . Далі на лічильнику N-counter опорна частота ділиться і виходить інша частота  $F_{ref}$ , яка надходить на фазовий детектор PFD (phase-frequency detector).

Фазовий детектор порівнює фази частот  $F_{ref}$  і тієї, що надходить з дільника M-counter. Різниця фаз, фільтрується і управляє генератором VCO.

На виході керованого генератора — нова частота  $F_{vco}$ . Фазовий детектор подає керуючий сигнал на генератор VCO до тих пір, поки не виконається умова  $F_{ref} = F_{vco} / M$ . За цієї умови частоти, що подаються на детектор фаз рівні. Таким чином, наприклад, якщо  $M = 2$ , то частота генератора VCO повинна вийти в 2 рази вище частоти  $F_{ref}$ . Останній етап — частота  $F_{vco}$  ділиться на вихідному лічильнику K-counter.

Підбираючи коефіцієнти N, M, K можна синтезувати досить великий діапазон частот. Більш складні компоненти PLL дозволяють перезавантажувати коефіцієнти в процесі роботи системи.

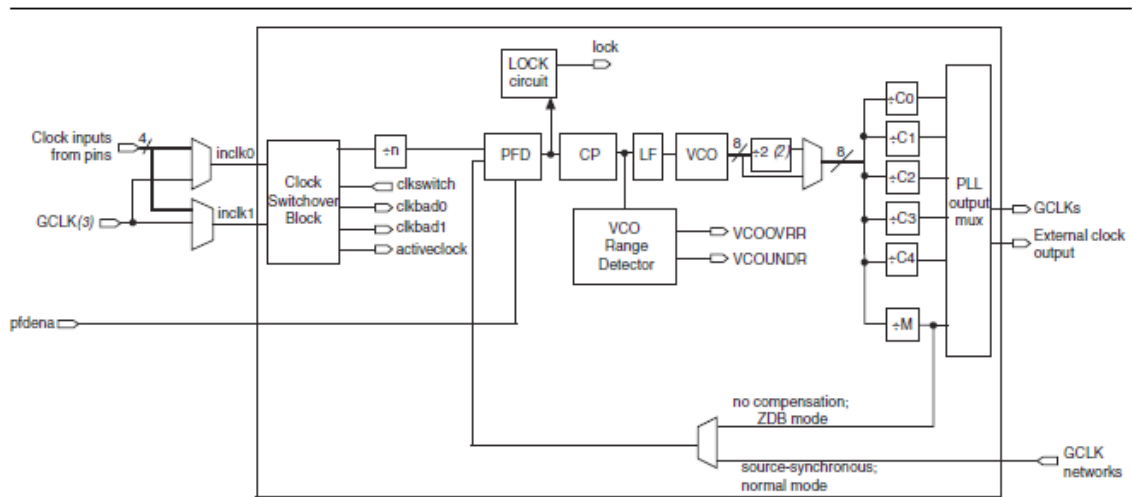


Рис. 6.11 — Загальна структурна схема PLL

Наступний блок (модуль) в схемі — ShiftC, котрий відіграє роль мікросхем з логічними елементами «&» та блока «OR». В середовищі Quartus II є можливість створювати окремі модулі, котрі написані мовою програмування Verilog.

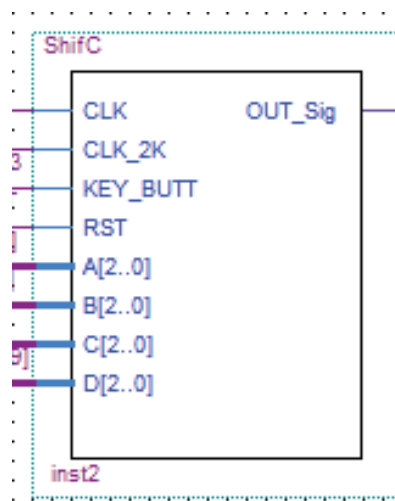


Рис. 6.12 — модуль ShiftC

Verilog — мова опису цифрових схем. Один з базових типів джерела сигналу в мові Verilog — це ланцюг або провідник, wire. Таким чином, якщо у вас є арифметичний або логічний вираз, ви можете асоціювати результат виразу з іменованим провідником і пізніше використовувати його в інших виразах. Це трохи схоже на змінні, тільки їх (як дроти в схемі) можна перепід'єднати в процесі моделювання, не можна поміняти тільки його значення. Значення провідника (wire) — це функція того, що приєднано до нього. Розглянемо програмний код даного модуля.

```

module ShifC(CLK, CLK_2K, KEY_BUTT, RST, A, B, C, D, OUT_Sig);
input CLK, CLK_2K, RST;
input [2:0] A, B, C, D;
input KEY_BUTT;
output OUT_Sig;

reg [3:0] Pel;
reg [15:0] Line;

wire RESET;
wire Cout;
wire CLK_EN;
wire END;
wire RST;
wire Y_R;
reg Fara;
wire F;
wire CLK_2K;
wire KEY_BUTT;
wire HeH;
reg [10:0] Gak;

assign HeH = CLK_2K & KEY_BUTT;

always @(posedge HeH or posedge RST) begin
if (RST)
Gak = 11'd0;
else if (Gak== 11'd2000)
Gak = 11'd0;
else
Gak = Gak + 11'd1;
end
assign Key = (Gak== 11'd1);

```



```

assign RESET = RST | Y_R;
reg R;
wire Y_2;
wire Y_3;
wire Key;

assign Y_R = Fara & !CLK;
assign Y_2 = Y_R | Key;

always @(posedge Y_2 or posedge RST) begin
if (RST)
R = 1'd0;
else
R = !R;
end

always @(posedge CLK or posedge RESET)
begin
if (RESET)
Fara = 1'b0;
else
Fara = END;
end

assign Y_3 = R & CLK;

wire [2:0] Y_A;
wire [2:0] Y_B;
wire [2:0] Y_C;
wire [2:0] Y_D;

wire F1;
wire F2;
wire X;

```

```

wire YF1;
wire YF2;
wire YX;

wire OUT_Sig;

assign F1 = 1'b1;
assign F2 = 1'b1;
assign X = 1'b0;

always @(posedge Y_3 or posedge RESET) begin
if (RESET)
Pel = 4'd0;
else if (Pel == 4'd15)
Pel = 4'd0;
else
Pel = Pel + 4'd1;
end

assign Cout = (Pel == 4'd0);
assign END = (Pel == 4'd15);

always @(posedge Y_3 or posedge RESET) begin
if (RESET)
Line = 15'd0;
else begin
Line[0] = Cout;
Line = Line << 1;
end
end
wire [14:0] OUTL;
assign OUTL[14:0] = Line[15:1];

```

```

assign YF1 = F1 & OUTL[0];
assign YF2 = F2 & OUTL[14];
assign YX = X & OUTL[7];
assign Y_A[0] = A[0] & OUTL[2];
assign Y_A[1] = A[1] & OUTL[4];
assign Y_A[2] = A[2] & OUTL[6];

assign Y_B[0] = B[0] & OUTL[8];
assign Y_B[1] = B[1] & OUTL[10];
assign Y_B[2] = B[2] & OUTL[12];

assign Y_C[0] = C[0] & OUTL[1];
assign Y_C[1] = C[1] & OUTL[3];
assign Y_C[2] = C[2] & OUTL[5];

assign Y_D[0] = D[0] & OUTL[9];
assign Y_D[1] = D[1] & OUTL[11];
assign Y_D[2] = D[2] & OUTL[13];

assign OUT_Sig = YF1 | Y_A[0] | Y_A[1] | Y_A[2] | Y_B[0] | Y_B[1] | Y_B[2]
| Y_C[0] | YX | Y_C[1] | Y_C[2] | Y_D[0] | Y_D[1] | Y_D[2] | YF2;

endmodule

```

Як видно з програмного коду, спочатку треба перерахувати всі порти модуля (module ShifC(CLK, CLK\_2K, KEY\_BUTT, RST, A, B, C, D, OUT\_Sig)). Потім описуються напрямки сигналів за допомогою операторів input та оператора output. Також для опису сигналів, окрім оператора wire, використовуються регістри: reg.

Регістр reg в мові Verilog швидше позначає змінну, яка може зберігати значення, ніж апаратний регістр. Тип reg використовують при поведінковому (behavioral) і процедурному описі цифрової схеми. Якщо регістру постійно присвоюється значення комбінаторної (логічної) функції, то він поводить себе точно як провідник (wire). Якщо ж регістру присвоюється значення в синхронній логіці, наприклад по фронту сигналу тактової частоти, то йому буде відповідати фізичний D-тригер або

група D-тригерів. D-тригер — це логічний елемент здатний запам'ятовувати один біт інформації. В англomовних статтях D-тригер називають flipflop.

Також можна задати масив регістрів, який зазвичай називають «пам'яттю», наприклад `reg [3:0] Pel; reg [15:0] Line`. В даному випадку ми маємо два масиви регістрів: на 4 і на 16 біт. Таким само ж чином можна представити оператор `wire` (`wire [2:0] Y_A`). Цей провідник передає одразу 3 біти інформації. Зазвичай такі провідники наживають «шина», інколи «вектор».

Оператор `assign` використовується для безперервного присвоєння сигналу змінної типу `wire` (синтаксис: `assign var = expression;`)

При зміні виразу `expression` (наприклад, змінилося значення змінної, що входить в `expression`), обчислюється нове значення виразу і результат присвоюється змінній `var`. У лівій частині виразу змінна може бути тільки типу `wire`, а в правій частині — можлива комбінація змінних `wire`, `reg`. Всі оператори `assign` в модулі виконуються паралельно.

Оператор `always` — це один з основних, ефективних операторів мови Verilog. Дозволяє задати постійне виконання послідовності команд. Зазначена послідовність може виконуватися або циклічно (в нескінченному циклі), або тільки після появи певної події. Даний оператор застосовується тоді, коли виникає необхідність послідовного виконання команд. Для цього, після ключового слова `always`, слідує послідовність операторів, укладених в блок `begin / end`. Всі команди, розташовані всередині такого блоку, виконуються послідовно, а самі оператори `always` — паралельно. Коли блок `begin / end` відсутній, то дія оператора `always` поширюється тільки на один оператор, який розташований прямо за ним. Якщо в операторі `always` відсутня конструкція `@ (... events ...)`, то набір команд, розташованих між `begin` і `end`, виконується в нескінченному циклі.

Для задання умови, необхідної для запуску блоку `always`, використовується конструкція `@ (... events ...)`. В цьому випадку, всередині круглих дужок вказується список умов (подій), які ініціюють виконання оператора `always`. Умовою може бути поява позитивного або негативного фронту, зміна значення сигналу та ін. Позитивний фронт вказується ключовим словом `posedge`, негативний фронт — `negedge`. Після ключових слів `posedge` і `negedge` слідує ім'я сигналу. Якщо необхідною умовою є будь-яка зміна сигналу — в дужках просто вказується ім'я сигналу, який контролюється.

Наступний блок відіграє роль дешифратора для семисегментних індикаторів. Ця схема побудована на принципі дешифратора серії K176ІД2 (рисунок). Як

і будь-який інший дешифратор, мікросхема має входи для отримання двійкового коду (1, 2, 4, 8) і 7 виходів, на яких формується код відповідно до розташування сегментів на індикаторі.

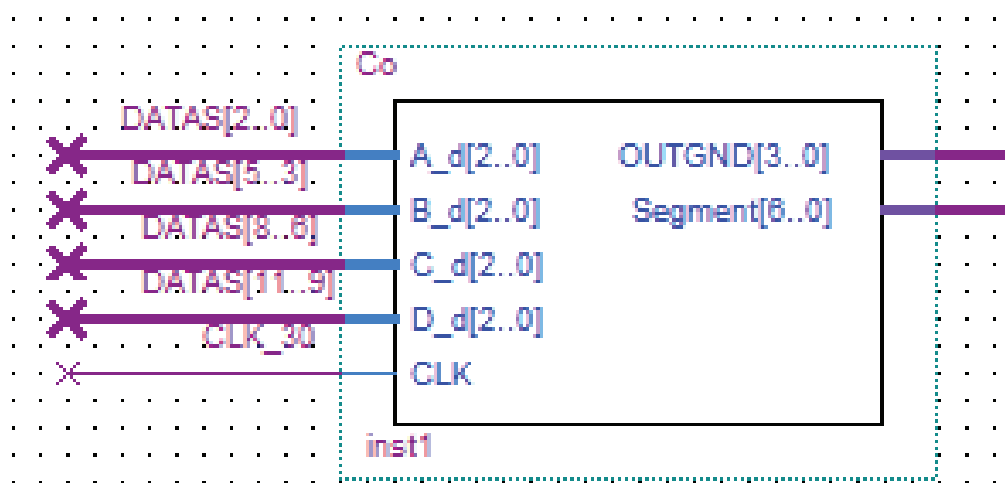


Рис.6.13 — Дешифратор для семисегментного індикатора.

Якщо, наприклад, подати на вхід код 0110, то мікросхема встановить високі рівні на входах A, F, E, D, C, G і в результаті ми побачимо цифру 6 (двійковий еквівалент її якраз 0110). Як і прості двійковій-десяткові дешифратори, семи-сегментний індикатори бувають різних типів — все залежить від того, для роботи з якими типами індикаторів вони розраховані.

Якщо індикатори світлодіодні, то дешифратор повинен мати хорошу здатність навантаження, щоб витримати струм світлодіода сегмента, якщо ЖК, то вихідний струм може бути маленьким, але дешифратор повинен вміти видавати на індикатор протифазний сигнал. Люмінесцентні індикатори не вимагають великого струму, але для коректної роботи їм необхідна висока напруга.

І остання складова схеми виконує роль зсувного регістра (рисунок). Послідовний регістр (регістр зсуву або зсувний регістр) зазвичай служить для перетворення послідовного коду в паралельний і навпаки. Застосування послідовного коду пов'язане з необхідністю передачі великої кількості двійкової інформації по обмеженій кількості з'єднувальних ліній. При паралельній передачі розрядів потрібна велика кількість з'єднувальних провідників. Якщо виконавчі розряди послідовно біт за бітом передавати по одному провіднику, то можна значно скоротити розміри з'єднувальних ліній на платі (а в даному випадку величину схеми і кількість модулів).

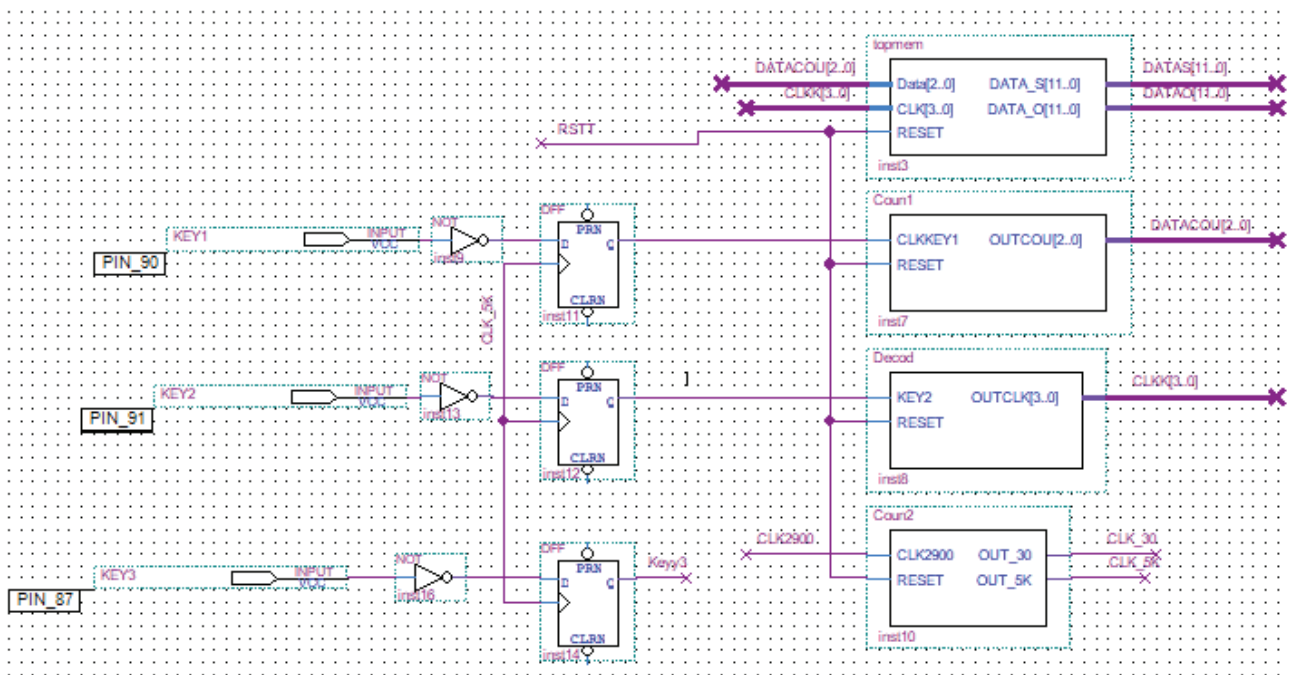


Рис.6.14 — Зсувний регістр.

## 6.7 Висновки

В даному розділі розглянуто наступні питання:

1. Норми на параметри кода запиту. Норми на параметри коду запиту RBS (ICAO) передбачають чотири коди запиту: А, В, С і D (резервний код). Кожен код складається з імпульсів P1 і P3 (див. Рис. 4.1.1), інтервал між якими визначає смисловий зміст коду (табл. 4.1.1). До складу коду, як правило, включається імпульс придушення, який настає через  $(2 \pm 0,15)$  мкс після імпульсу P1. Тривалість ті імпульсу становить  $(0,8 \pm 0,1)$  мкс при тривалості фронту спаду  $\tau_f = 0,05 \dots 0,1$  мкс і  $\tau_{сп} = 0,05 \dots 0,2$  мкс. Інтервал між імпульсами P1 і P2 дорівнює  $(2 \pm 0,15)$  мкс, а точність витримування кодових інтервалів  $\tau_{к.з} = \pm 0,2$  мкс.
2. Норми на параметри коду відповіді. Норми на параметри коду відповіді RBS (ICAO) регламентують склад координатних і інформаційних сигналів, а також способи передачі інформації за допомогою інформаційних кодів відповіді. Тривалість імпульсів сигналу відповіді  $t_i = 0,45 \pm 0,1$  мкс при  $\tau_f = 0,05 \dots 0,1$  і  $\tau_{сп} = 0,05 \dots 0,2$  мкс. Допуск на часовий інтервал між імпульсами сигналу відповіді становить  $\pm 0,1$  мкс.

Координатний сигнал складається з опорних імпульсів F1 і F2 (рис. 6.3), інтервал між якими дорівнює 20,3 мкс. Що дозволяє розрізнити літаки, рознесені на 3 км по дальності.

- 3 Порядок формування та використання номерів рейсів в авіакомпаніях СНД при УВД і забезпеченні польотів. Кожній зареєстрованій в СНД авіакомпанії при оформленні свідоцтва експлуатанта (перереєстрації) призначається однорядкове резюме код і встановлюється офіційна назва і радіотелефонний позивний (Вказівка від 12.05.94 ДВ — 63 / Н). Кожній зареєстрованій в ІКАО авіакомпанії при оформленні свідоцтва експлуатанта (перереєстрації) ФСВТ СНД призначає трисимвольний код (літерами латинського і російського алфавіту) і встановлюється офіційна назва і радіотелефонний позивний.
- 4 Кодування інформації в системах вторинної радіолокації. У повідомленнях систем ВРЛ передається певний обсяг інформації про стан ПС, що кодується тим або іншим способом. Під час передавання інформації по каналу зв'язку «борт — земля» вона може спотворюватися під дією завад. У системі АТСРБС спосіб кодування відповідної інформації не передбачає можливості виявлення і виправлення помилок під час декодування. Виходом з цієї ситуації є порівняння декількох відповідей, що надходять одна за одною і містять однакову інформацію. Розбіжність змісту відповідей свідчить про наявність помилок, збіг — про їх відсутність.

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 7.1 Вступ

Система заходів з охорони праці займається розробкою засобів для забезпечення безпеки життя і здоров'я працівників в процесі їх трудової діяльності, тобто ця система вміщує в собі заходи, які поодинці або в сукупності спрямовані на створення умов праці, що відповідають вимогам збереження життя та здоров'я працівників в процесі трудової діяльності.

Охорона праці спирається на комплекс державних законодавчих актів.

Загальними законами України, що визначають основні положення щодо охорони праці є Конституція України, Кодекс законів про працю, Закон України «Про охорону праці», Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності» та підзаконні акти щодо охорони праці.

Технічна експлуатація електроустаткування літаків і аеропортів пов'язана з небезпекою ураження інженерно-технічного персоналу електричним струмом.

У державному стандарті України ДСТУ 2293-99 «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці. Терміни та визначення» встановлені терміни і визначення основних понять з охорони праці. Наведемо деякі з них:

Охорона праці система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, гігієнічних або лікувально-профілактичних заходів і засобів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці;

Шкідливий (виробничий) фактор виробничий фактор вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я та зниження працездатності працівника;

Небезпечний (виробничий) фактор виробничий фактор вплив якого в певних умовах може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника;

Нещасний випадок на виробництві раптовий вплив на працівника небезпечного виробничого фактора чи середовища, внаслідок яких заподіяна шкода здоров'ю або наступила смерть;

Виробнича травма порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій внаслідок впливу виробничих факторів;

Виробниче середовище сукупність фізичних, хімічних, біологічних, соціальних факторів, що діють на людину в процесі трудової діяльності;



Міжгалузеві і галузеві акти з охорони праці закони, міжгалузеві і галузеві стандарти, норми, правила, положення, інструкції та інші документи з охорони праці, яким надається сила правових норм обов'язкових для виконання;

Нагляд за охороною праці одна з форм діяльності державних органів по дотриманню вимог законів та інших нормативних актів з охорони праці встановлених державною владою.

## **7.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів**

### ***Ураження електричним струмом***

Ураження електрострумом виникають у результаті доторкання до дротів, що несуть струм, а також при контактуванні з обладнанням що знаходиться під напругою, чи з поганим заземленням.

Вітрогенератор обладнаний складними електронними пристроями, при розробці яких забезпечувався захист від електричних джерел небезпеки, пов'язаних з надмірними струмами. При підключенні цих і будь-яких інших електротехнічних пристроїв пам'ятайте, що неминучі ризики, створювані для людей протіканням електричного струму, все-таки існують. Виділення тепла в системах електротехнічного монтажу часто є результатом протіканням надмірного струму по проводах з недостатнім перетином або через погані контакти. Акумулятори можуть викидати струми небезпечної величини. У випадку короткого замикання в проводах, що йдуть від акумулятора, може виникнути пожежа. Щоб усунути цей ризик, необхідно встановити в ланцюгах, що підключаються до акумулятора, плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі відповідного номіналу.

Ступінь і тяжкість ушкодження тканин залежать, головним чином, від сили струму, що проходить через тіло людини, напруги і тривалості дії, а також від того, змінний він або постійний. Патологічні зміни виникають відразу при проходженні струму через організм або виявляються пізніше у вигляді ускладнень. Електричний струм чинить на тканину теплову, хімічну й механічну дію і лишає на шкірі «знаки струму» — на місці його входу і виходу в результаті трансформації електроенергії в теплову.

### ***Механічні джерела небезпеки***

Обертові лопати являють собою найбільш серйозне механічне джерело небезпеки. Лопаті ротора вітрогенератора виготовлені з дуже міцного термопластику. Швидкість руху лопатей перевершує 400 км/годину. При такій швидкості краї

лопатай майже невидимі й можуть нанести серйозну травму. Ні за яких умов не слід установлювати турбіну в таких місцях, де можливий контакт людини з лопатами ротора, що рухаються.

Успішна профілактика виробничого травматизму та професійної захворюваності можлива лише за умови ретельного вивчення причин їх виникнення. Для полегшення цього завдання прийнято поділяти причини виробничого травматизму і професійної захворюваності на такі основні групи: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, економічні, психофізіологічні.

***Організаційні причини:***

Відсутність або неякісне проведення навчання з питань охорони праці; відсутність контролю; порушення вимог інструкцій, правил, норм, стандартів; невиконання заходів щодо охорони праці; порушення технологічних регламентів, правил експлуатації устаткування, транспортних засобів, інструменту; порушення норм і правил планово-попереджувального ремонту устаткування; недостатній технічний нагляд за небезпечними роботами; використання устаткування, механізмів та інструменту не за призначенням.

***Технічні причини:***

Несправність виробничого устаткування, механізмів, інструменту; недосконалість технологічних процесів; конструктивні недоліки устаткування, недосконалість або відсутність захисного огороження, запобіжних пристроїв, засобів сигналізації та блокування.

***Санітарно-гігієнічні причини:***

Підвищений (вище ГДК) вміст у повітрі робочих зон шкідливих речовин; недостатнє чи нераціональне освітлення; підвищені рівні шуму, вібрації; незадовільні мікрокліматичні умови; наявність різноманітних випромінювань вище допустимих значень; порушення правил особистої гігієни.

***Економічні причини:***

Нерегулярна виплата зарплати; низький заробіток; неритмічність роботи; прагнення до виконання понаднормової роботи; праця за сумісництвом чи на двох різних підприємствах.

***Психофізіологічні причини:***

Помилкові дії внаслідок втоми працівника через надмірну важкість і напруженість роботи; монотонність праці; хворобливий стан працівника; необережність; невідповідність психофізіологічних чи антропометричних даних праців-

ника використовуваній техніці чи виконуваній роботі; незадоволення роботою; несприятливий психологічний мікроклімат у колективі.

### **7.3 Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для зниження впливу шкідливих виробничих факторів.**

Для забезпечення безпеки працюючих застосовуються засоби захисту, що повністю або частково закривають доступ у зону, в якій діють шкідливі фактори, та виключають їх дію в разі проникнення людини у простір, де вони виникають.

Відносно джерела звуку, боротьба з шумом поділяється на:

- засоби, що знижують шум у джерелі його виникнення;
- засоби, що зменшують шум на шляху його поширення.

До заходів зменшення шуму в джерелі його виникнення відноситься поліпшена конструкція машин, застосування матеріалів, що не створюють сильних звуків, забезпечення мінімальних допусків, зміна прямозубих шестерень шевронними і т. ін.

До заходів зменшення шуму на шляхах його поширення відносяться такі методи як:

- акустичні;
- архітектурно-планувальні;
- організаційно-технічні.

До акустичного методу відноситься зменшення шуму шляхом звукопоглинання та звукоізоляції.

Звукопоглинання базується на перетворенні енергії звукових коливань часток повітря на теплоту за рахунок втрат на тертя в порах звукопоглинаючого матеріалу. У виробничому середовищі рівень шуму значно зростає внаслідок його відбиття від огорожуючи будівельних конструкцій та обладнання. Для зменшення відбитого шуму застосовують акустичну обробку приміщень шляхом облицювання його поверхонь звукопоглинаючими матеріалами.

Екранування використовують тоді коли інші методи малоефективні. Екран створює звукову тінь і є перешкодою на шляху його поширення. Для боротьби з аеродинамічними шумами застосовують глушники шуму: абсорбційні, реактивні і комбіновані.

Архітектурно-планувальні методи включають в себе акустичне планування будівель і споруд, організацію робочих місць, розміщення обладнання, створення шумозахисту та раціональних зон руху транспортних засобів.

Організаційно-технічні заходи боротьби з шумом включають впровадження малошумного технологічного обладнання, дистанційне управління та використання раціональних режимів праці та відпочинку і т. ін.

Заходи щодо боротьби з вібрацією поділяють на колективні та індивідуальні. Колективні методи - це методи зниження вібрації через вплив на джерело збудження і методи зниження вібрації на шляху її розповсюдження.

Засоби, що використовуються під час реалізації вищезгаданих методів віброзахисту поділяються на:

- огорожувальні (захисні);
- віброізоляційні;
- віброгасильні і вібропоглинаючі;
- засоби автоматичного контролю, сигналізації та дистанційного керування;
- позначення віброуючих поверхонь знаком або фарбою.

Захисні засоби запобігають доступу людини до зони, де діє вібрація. Конструктивно вони можуть бути зроблені у вигляді ґратчатих, сітчастих та непрозорих перешкод із металу, деревини тощо. Віброізоляція зменшує рівні вібрації, що передаються від джерела на тіло працюючого. Вона здійснюється введенням між джерелом вібрації та працюючим проміжного пружного зв'язку, наприклад, фундамент машин, збудований на пружних прокладках.

Засоби індивідуального захисту від вібрації:

- спеціальне віброзахисне взуття;
- рукавиці з м'якими надолонниками;
- пружно-демпфуючі прокладки та пластини для обхвату віброуючих рукояток та деталей .

методами:

- ізоляцією або огорожуванням джерел випромінювань за допомогою спеціальних камер, огорож, екранів, обмежень часу перебування персоналу в радіаційно-небезпечній зоні, віддаленням робочого місця від джерел випромінювання, використанням дистанційного керування;
- засобів сигналізації і контролю, використанням засобів індивідуального захисту.

Ефективним методом захисту від ультрафіолетового випромінювання є екранування джерел випромінювання. Робочі місця огорожують ширмами, щитами, обладнують кабіни. Як засоби індивідуального захисту використовують спецодяг, спецвзуття, рукавиці, захисні окуляри та щитки із світлофільтрами.

Основні види захисту від електромагнітного випромінювання:

- зменшення випромінювань безпосередньо біля джерела;
- дистанційний контроль і керування в екранованому приміщенні;
- організаційні заходи (проведення дозиметричного контролю, медичні огляди, додаткова відпустка, скорочені робочі дні);
- застосування засобів індивідуального захисту (спецодяг, захисні окуляри).

Лазерне випромінювання. Лазери використовують у техніці, медицині. Найбільш чутливим органом до лазерного випромінювання є очі, - ушкодження сітківки очей може статись навіть при порівняно невеликих інтенсивностях. Засоби захисту від лазерного випромінювання можуть бути колективні та індивідуальні.

До колективних належать:

- застосування телевізійних систем спостереження за технологічним процесом, захисні екрани;
- системи блокування та сигналізації; О огороження лазерно-небезпечної зони.

Індивідуальні:

- спеціальні протилазерні окуляри;
- щитки, маски;
- технологічні халати та рукавиці.

Дія електромагнітних хвиль на організм залежить від інтенсивності джерела, тривалості опромінення, довжини хвиль, характеру випромінювання (безперервне, імпульсне) та режиму опромінення (постійне, інтермітуюче).

Для забезпечення безпеки персоналу від дії ЕМП використовують такі заходи:

організаційні; інженерно-технічні; лікувально-профілактичні .

Організаційні заходи включають: раціональне розміщення радіотехнічних пристроїв, відповідний режим праці та відпочинку, створення санітарно-захисних зон.

До інженерно-технічних заходів належить герметизація установок, екранування, захист відстанню дистанційне управління.

Для екранування робочого місця використовують відбиваючі, сіткові, еластичні та поглинаючі типи екранів. Форму, розміри і товщину екрана визначають розрахунком.

Для захисту працюючих використовують спеціальний одяг, виготовлений із металізованої тканини у вигляді комбінезонів, халатів, фартухів, курток із капю-

шонами з вмонтованими в них окулярами, скельця яких покриті шаром оксиду олова, що послаблює потужність хвиль.

Розрахунок штучного освітлення

Вихідні дані:

Розміри приміщення (м)- довжина А - 20;

ширина В – 7;

висота Н – 3,5;

Коефіцієнт відбиття, S, %стін – 30;

стелі – 10;

підлоги – 10;

Кількість освітлювачів N-10;

Кількість ламп в освітлювачі-4;

Потужність кожної лампи-100Вт

Нормована величина освітлення  $E_n=400$ лк.

Затінення – відсутнє

Визначити освітлення робочих місць.

Рішення:

Розрахункова схема розташування освітлювачів:

Коефіцієнт запасу  $K_z$  складає 1,4;

Площа приміщення:  $S_{пр}=20*7=140$ м<sup>2</sup>

Світловий потік  $F_{л}=1630$ лм (100Вт)

Світловий індекс приміщення

$$i = A*B/h(A+B) = 20*7/3(20+7) = 140/81 = 1,73$$

Коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta=0,48$

Фактична освітленість приміщення:

$$E_f = (N * F_{л} * n * \eta) / (S_{пр} * Z * K_{зп}) = (10 * 1630 * 4 * 0,48) / (140 * 1,5 * 1,4) = 107 \text{ лк.}$$

Висновок: освітленість недостатня, не відповідає нормі більш, ніж на 70%.

## 7.4 Пожежо- та вибухонебезпека

На ПС для зменшення небезпеки виникнення пожежі і її поширення мають бути передбачені: конструктивні засоби, які попереджають про виникнення і поширення пожежі; системи і прилади виявлення пожежі в пожежонебезпечних зонах і сигналізації про неї екіпажу; системи пожежогасіння в пожежонебезпечних зонах; дренажі для видалення скупчення горючих рідин і їхньої пари з місць можливих скупчень їх на літаку.

На ПС пожежонебезпечними зонами є відсіки двигунів, а також відсіки, де розміщені енергетичні й обігрівальні установки, які працюють на пальному. Крім цього, пожежонебезпечними можуть бути всі зони ПС, у яких є потенційна можливість виникнення пожежі внаслідок зруйнування або пошкодження будь-яких елементів конструкції, агрегатів та вузлів, а також появи течії горючих рідин при наявності джерел запалювання (наприклад, внутрішні порожнини двигуна).

Конструкційні і обробні матеріали для ПС класифікують таким чином: вогнетривкі, які витримують дію полум'я газової або газової лампи з діаметром факела 120 мм і температурою 1100°C протягом 15 хв; важкоспалювані, при випробуваннях яких у вертикальному положенні після видалення джерела полум'я не спостерігається залишкового горіння або тління; самозгасаючі, у яких під час випробувань після видалення джерела полум'я залишкове горіння продовжується не більше 15 с.

Перелічені матеріали застосовують на ПС залежно від ступеня пожежної безпеки його окремих зон. Останні, де розташовані установки і агрегати, температура поверхонь яких перевищує 200°C, повинні мати охолодження і відокремлюватись від інших зон ПС протипожежними перегородками або екранами, які перешкоджають поширенню пожежі в суміжні зони, а також попаданню диму і токсичних продуктів термічного розкладу (піролізу) вогнегасних і горючих речовин в кабіни екіпажу і пасажирів.

Конструкційні і оздоблювальні матеріали, які застосовують, мають бути важкоспалюваними або самозгасаючими і мати достатню вогнестійкість для запобігання можливості поширення вогню від місця загоряння. Не можна застосовувати матеріали, які виділяють токсичні продукти під час нагрівання. На ПС передбачають захист електричних ланцюгів і агрегатів від короткого замикання, перевантаження і накопичення статичної електрики. Наприклад, для усунення можливості виникнення різниці потенціалів між основними елементами силової

установки та іншими частинами ПС мають бути забезпечені електричні контакти (металізація). Забороняється застосовувати матеріали, здатні вбирати горючі рідини в місцях їхнього можливого витоку.

Необхідно виключити samozapalювання горючих рідин в місцях їхнього зіткнення з конструктивними елементами ПС. Для цього в усіх випадках максимальна температура цих елементів не повинна перевищувати 200°C.

Для зменшення ймовірності виникнення пожежі під час аварійної посадки передбачають аварійні системи вмикання подачі вогнегасної речовини в пожежонебезпечні відсіки. Елементи конструкції літака, на які можливе потрапляння відпрацьованих газів, виконують з вогнестійких матеріалів. Системи сигналізації і гасіння пожеж мають бути швидкодіючими, надійними і знаходитись у всіх пожежонебезпечних зонах. Викладені вище вимоги пожежної безпеки реалізуються в конструкціях систем пожежегасіння сучасних вітчизняних ПС.

Найбільш пожежонебезпечними будівлями та спорудами аеропорту є авіаційно-технічні бази (АТБ). До них відносяться: ангар, виробничий корпус — будівля АТБ, корпус цеху головного механіка, будівля техслужб тощо. Сучасні ангари — це одноповерхові будівлі II ступеню вогнестійкості, площа яких досягає декількох десятків тисяч квадратних метрів, а висота — 30 м і більше. Покриття ангарів, як правило, сумісні по металічних або залізобетонних фермах з світловими ліхтарями. Особливим приміщенням ангару є ремонтний зал, розташований у центрі будівлі. Майстерні, адміністративні, підсобні та інші приміщення розташовані у прибудовах за його периметром. Одна стіна ангару являє собою розсувні ворота з декількох рухомих секцій, що приводяться в рух електродвигунами та ручними приводами. Ремонтні зали часто розгороджують пересувними сітчастими перегородками на бокси (доки). Завантаження спалюваним матеріалом доку складається, у середньому, з 10 м<sup>3</sup> дощок, 200 кг і більше горючої рідини, по 100 кг авіаційного палива у вигляді незливних залишків. У цілому на їм<sup>2</sup> приходиться, у середньому, 30 кг/м<sup>2</sup> горючого завантаження (без врахування маси корпусу літака).

Розвиток пожеж на літаках, що знаходяться в ангарах, відбувається так само інтенсивно, як і під час аварій. Але внаслідок наявності задимлення та загрози завалення покриття обстановка значно складніша, ніж на злітно-посадковій смузі. Розповсюдженню горіння в ангарі сприяє значний повітряний обмін. Під час ремонту літаків отвори у фюзеляжах, як правило, відкриті, кожухи та щити зняті,



частково відсутня обшивка. Усе це створює сприятливі умови для розвитку пожеж. Середня швидкість розповсюдження горіння твердими матеріалами у середині ремонтних залів буває у межах 0,5-1 м/хв. Покриття по металевих фермах, незахищених від дії температур, в умовах пожежі можуть завалюватись через 20-25 хв.

Внаслідок великого горючого завантаження у вигляді горючих рідин, гуми, різноманітних пластиків та інших матеріалів, що мають велику швидкість вигорання та димоутворюючу властивість, приміщення ангарів задимлюються дуже швидко. У приміщеннях за об'ємом у 25000 м<sup>3</sup> при зачинених світлових ліхтарях і воротах приблизно за 15 хв концентрація та щільність диму досягає таких значень, при яких людям не можна знаходитись без засобів захисту органів дихання.

Одним з першочергових завдань КГП під час гасіння пожеж в ангарах є визначення необхідності евакуації літаків з будівлі. Евакуація можлива, якщо літаки стоять не на підставках, а на шасі. Евакуацію проводять терміново коли: сил та засобів, які є, недостатньо для гасіння або захисту покриття від завалювання, а швидкість розвитку пожежі перевищує швидкість зосередження сил та засобів; літак, що горить, знаходиться у першому ряді від воріт; локалізацію пожежі неможливо здійснити на протязі 15-20 хв.

Магістральні рукавні лінії прокладають з урахуванням напрямку можливої евакуації літаків. При сильному задимленні ангару КГП з допомогою обслуговуючого персоналу організовує боротьбу з димом. Найбільш прийнятним способом видалення диму є комплексне використання аерації та вентиляційних систем. Для цього відкривають світлові ліхтарі, заскління над воротами, відключають приточну вентиляцію і, якщо не проводиться евакуація літаків, то закривають ворота. Якщо ворота хоч частково відкриті, ефективність аерації різко знижується.

Будівельні конструкції ангару гасять за допомогою компактних і розпилених водяних струменів, які подають з лафетних стволів з інтенсивністю 0,18-0,2 л/с-м<sup>2</sup>.

Під час горіння рідини, що розтікається, чи малогабаритного обладнання, розташованого на підлозі, найбільший ефект дає застосування піни середньої кратності. Якщо горіння відбувається на значній площі

Великогабаритного обладнання або корпусу літака, гасіння ведеться потужними повітряно-пінними або розпиленими струменями.

У середині фюзеляжу літака пожежу доцільно гасити піною середньої крат-

ності, а при відсутності обшивки та відкритих отворів можна використовувати поверхнєве гасіння струменями води або піни з СПП-4.

Гасіння пожеж літаків на стоянках майже не відрізняється від раніше розглянутих варіантів. Особливість полягає у тому, що літаки на стоянках знаходяться на справних шасі і тому їх можна відкочувати від літака, що горить, або навпаки, літак що горить, вивести на вільний майданчик. Системи літаків (повітряна, паливна, масляна та ін.) на стоянках з'єднані з колонками, ось чому під час гасіння пожеж, у першу чергу, необхідно відключити літак від колонок, а якщо це неможливо, перекрити магістральні лінії, перекривні та відмикаючі пристрої, що знаходяться у будівлі у відповідних приміщеннях (компресорна, насосна тощо).

## 8 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 8.1 Вступ

Охорона навколишнього середовища — система заходів щодо раціонального використання природних ресурсів, збереження особливо цінних та унікальних природних комплексів і забезпечення екологічної безпеки. Це сукупність державних, адміністративних, правових, економічних, політичних і суспільних заходів, спрямованих на раціональне використання, відтворення і збереження природних ресурсів землі, обмеження негативного впливу людської діяльності на навколишнє середовище.

Основними принципами охорони навколишнього природного середовища є (стаття 3 Закону):

- пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість додержання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів при здійсненні господарської, управлінської та іншої діяльності;
- гарантування екологічно безпечного середовища для життя і здоров'я людей;
- запобіжний характер заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;
- екологізація матеріального виробництва на основі комплексності рішень у питаннях охорони навколишнього природного середовища, використання та відтворення відновлюваних природних ресурсів, широкого впровадження новітніх технологій;
- обов'язковість екологічної експертизи;
- гласність і демократизм при прийнятті рішень, реалізація яких впливає на стан навколишнього природного середовища, формування у населення екологічного світогляду;
- науково обґрунтоване нормування впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище;
- компенсація шкоди, заподіяної порушенням законодавства про охорону навколишнього природного середовища;
- встановлення екологічного податку, збору за спеціальне використання води, збору за спеціальне використання лісових ресурсів, плати за користування надрами відповідно до Податкового кодексу України

Законодавством України встановлюються нормативи використання природних ресурсів та інші екологічні нормативи.

Екологічні нормативи встановлюють гранично допустимі викиди та скиди у навколишнє природне середовище забруднюючих хімічних речовин, рівні допустимого шкідливого впливу на нього фізичних та біологічних факторів (стаття 33 Закону).

Нормативи гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у навколишньому природному середовищі та рівні шкідливих фізичних та біологічних впливів на нього є єдиними для всієї території України.

Підприємства, установи й організації, діяльність яких пов'язана з шкідливим впливом на навколишнє природне середовище, незалежно від часу введення їх у дію повинні бути обладнані спорудами, устаткуванням і пристроями для очищення викидів і скидів або їх знешкодження, зменшення впливу шкідливих факторів, а також приладами контролю за кількістю і складом забруднюючих речовин та за характеристиками шкідливих факторів (стаття 51 Закону).

## **8.2 Проблеми використання і охорони мінеральних ресурсів в Україні**

Мінеральні ресурси, утворені в надрах і на поверхні Землі, зі стародавніх часів широко використовувалися людством, тому вони дістали назву корисні копалини. Перші заходи з охорони корисних копалин здійснювалися в XIV ст. у Швейцарії, де ще в 1569 р. був створений перший заповідник із охорони надр. Промислове використання кам'яного вугілля почалося у 1800 р., нафти — в 1857 р., горючого газу — в 1881р. Окрім власне копалин (твердих, рідких, газоподібних), людство використовувало хімічні та інші речовини з озер і заток, океанів, поверхні Землі та атмосфери.

До мінеральних ресурсів належать природні речовини мінерального походження, які застосовуються з метою одержання енергії та різноманітних матеріалів шляхом їх видобування і переробки, а саме:

- будівельні матеріали і сировина для них, які видобуваються з неживої природи;
- різні види палива (вугілля, торф, нафта, природний газ, уран тощо);
- матеріали для виробництва машин, знарядь і предметів побуту (метали, глина, пісок);
- сировина для хімічної промисловості;
- продукти споживання (мінеральна вода, харчова сіль).

Переважна більшість корисних копалин утворилася в минулі геологічні

епохи, тому нині вони не відновлюються. Здатність до відтворення мають торф, відкладення солей в озерах і морських затоках, сучасні донні відкладення річкового піску та гравію. З них лише торф відновлюється унаслідок фотосинтезу і за допомогою мінеральних речовин води, а деякі донні відклади — у зв'язку з залишками рослинних організмів і трупами тваринних організмів. Інші корисні копалини відновлюються шляхом руйнування гірських порід і перевідкладенням утвореного матеріалу. Швидкість відновлення корисних копалин невелика з урахуванням інтенсивності їх використання. Отже, корисні копалини не можуть самовідновлюватися, порівняно з організмами, і належать до типових вичерпних ресурсів.

Мінеральні ресурси охоплюють надзвичайно багато природних речовин мінерального походження, що використовуються з метою одержання енергії та різноманітних матеріалів шляхом їх видобування і переробки. Саме з цими процесами пов'язані найрізноманітніші екологічні ускладнення: від вичерпності окремих родовищ і порушень природних екосистем до забруднень навколишнього середовища. Незважаючи на різний хімічний склад, фізичну будову, генезис (походження), способи видобування і переробки, а також можливі напрями виробничого використання, для всіх мінеральних ресурсів властиві такі спільні ознаки:

- невідновлюваність майже всіх видів корисних копалин (за винятком торфів, алювіальних наносів, продуктів вивітрювання);
- нерівномірність та обмеженість територіального поширення окремих видів ресурсів: одні їх види можуть траплятися майже всюди, інші (їх переважна більшість) — лише в окремих місцях земної поверхні;
- стабільність використання у часі. Оскільки у кожному випадку йдеться про видобуток вже сформованих запасів того чи іншого мінерального ресурсу, загальна природна ситуація мало впливає на ритм розробки, а річні та сезонні коливання видобування сировини визначаються майже виключно економічними чинниками;
- однозначність використання. Незалежно від спрямування подальшої переробки і кінцевого споживання, кожен вид мінеральних ресурсів, насамперед, має бути видобутим, тобто вилученим із природного оточення, тоді він стає предметом праці. Всі наступні етапи комплексного використання цих ресурсів перебувають уже за межами поняття «мінерально-сировинні ресурси» та є варіантами утилізації одержаної сировини.

Конкретний об'єкт вивчення мінеральних ресурсів — це родовище корисних копалин, під яким розуміють ті ділянки земної кори, де «внаслідок тих чи інших геологічних процесів відбулося нагромадження мінеральної сировини за кількістю, якістю та умовами залягання придатної для промислового використання»<sup>49</sup>. Важливе місце для оцінювання господарського значення конкретних мінеральних ресурсів займає визначення запасів корисних копалин, тобто кількості мінеральної речовини у надрах на конкретній території (наприклад, у державі, природному чи адміністративному регіоні, господарстві, родовищі тощо). Запаси оцінюються у кілограмах (благородні метали), каратах (дорогоцінні камені), тоннах (руди металів, хімічна сировина) або кубометрах (будівельні матеріали).

49: {Коротун І.М., Коротун Л.К., Коротун С.І. Природні ресурси України: Навч. посіб. – Рівне, 200. – С. 39.}

Загалом розміри нашої планети і відповідно кінцевий обсяг викопних ресурсів зумовлюють їх неминучу вичерпність. Терміни повного виснаження окремих видів таких ресурсів залежать від їх запасів та темпів використання. Справжні запаси багатьох невідновлюваних ресурсів ще не встановлено. Сучасна геолого-розвідувальна техніка може досягати невеликих глибин земної поверхні. Донині лише в експериментальному порядку пробурено декілька свердловин до глибини 15 км, а взагалі освоєним є шар земної кори, який у середньому не перевищує 2–3 км. Також залишаються недослідженими величезні ділянки дна Світового океану, що в декілька разів перевищують поверхню суші; лише в деяких місцях почали освоювати континентальний шельф.

Подальші розроблення деяких видів сировини загрожують навколишньому середовищу й навіть існуванню людини. Таким чином, проблема полягає не тільки і навіть не стільки у фізичному виснаженні відомих видів ресурсів, скільки в економічній та екологічній недоцільності їх видобування. Важливою умовою збереження корисних копалин є геологічна розвідка з метою створення потенційних запасів сировини та палива, сутність якої полягає в:

- повному використанні всіх корисних компонентів з родовищ на базі (наприклад, контурне обводнення нафтових пластів для підняття нафти; перехід від шахтного способу видобування до відкритого — кар'єри, розрізи тощо);
- комплексному використанні багатоконпонентних руд (наприклад, у порожній породі, що залишається на відвалах міднорудних басейнів, є золото, срібло, кобальт та інші компоненти, вартість яких перевищує вартість міді);

- утилізації відходів збагачення і спалювання корисних копалин (наприклад, пилоподібний попел та шлаки, відвали котрих займають сотні гектарів території, можуть бути сировиною для будівельних робіт);
- використанні вторинних продуктів переробки мінеральної сировини (у 1 т чавунного і сталевого лому зберігається 3,5 т мінеральної сировини);
- пошукові та освоєнні нових джерел корисних копалин (відомо, що на океанічному дні на глибині понад 1—2 тис. м зберігаються великі поклади мінеральної сировини, сконцентрованої в так званих залізомарганцевих конкреціях. За орієнтовними оцінками, у них міститься 358 млрд т марганцю, 207 млрд т заліза, 40 млрд т нікелю, 25 млрд т магнію та ін.);
- освоєнні нових енергетичних ресурсів.

### **8.3 Вплив радіолокаційних станцій на навколишнє середовище.**

Біосфера впродовж своєї еволюції знаходилась під впливом електромагнітних полів (ЕМП), фонового випромінювання, викликаного природними чинниками. Навколо Землі існують електричне та магнітне поля, інтенсивність яких не залишається постійною. Спостерігаються річні, добові коливання цих полів під дією грозових розрядів, опадів, вітрів, а також під дією сонячної активності (магнітні бурі).

У процесі науково-технічного розвитку людство додало до фонового випромінювання цілий ряд факторів, які підсилили це випромінювання в декілька разів (антропогенні ЕМП). У побуті та промисловості набули масового застосування обладнання та прилади, робота яких пов'язана з утворенням електромагнітних випромінювань широкого діапазону частот. Зростання рівня ЕМП різко підсилювалось з початку 30-х років ХХ століття. В окремих районах їх рівень в сотні разів перевищує рівень полів природного походження. Джерелами випромінювань електромагнітної енергії є потужні радіо та телевізійні станції, ретранслятори, засоби радіозв'язку різного призначення, в тому числі і супутникового, промислові установки високочастотного нагрівання металів, високовольтні лінії електропередач, електротранспорт, вимірювальні прилади, персональні комп'ютери (ПК).

В аеропортах та на військових об'єктах працюють потужні радіолокатори, які випромінюють в навколишнє середовище потоки електромагнітної енергії. Потужність та кількість джерел ЕМП постійно зростає.

Відомо, що навколо провідника, по якому протікає електричний струм, виникають електричне та магнітне поля. Якщо струм постійний, то ці поля існують незалежно одне від одного.

При змінному електричному струмі електричне та магнітне поля пов'язані між собою, становлячи єдине електромагнітне поле. При появі електричної напруги на струмоведучих частинах з'являється електричне поле (ЕП). Якщо електричне коло замкнуте, тобто по ньому протікає струм, це супроводжується появою магнітної складової поля, і в цьому випадку говорять про існування електромагнітного поля (ЕМП). Для характеристики ЕМП введено поняття напруженості його складових — електричного та магнітного полів. Одиницею вимірювання електричної складової поля  $E$  прийнято  $\left[ \frac{B}{M} \right]$ , а магнітної —  $H$  —  $\left[ \frac{A}{M} \right]$ .

Електрична та магнітна складові поля визначаються за формулами (6.1) та (6.2):

$$E = \frac{U}{l}, \quad (6.1)$$

$$H = \frac{I}{2\pi * R}, \quad (6.2)$$

де  $U$  — величина напруги, В;  $l$  — відстань від джерела випромінювання до точки, в якій ведеться вимірювання, м;  $I$  — сила струму, А;  $R$  — радіус кола силової лінії поля провідника, м.

Оскільки струм, який викликає появу ЕМП, характеризується частотою, то електромагнітне поле також характеризується частотою коливань —  $f$  довжиною хвилі —  $\lambda$ . Між ними існує зв'язок, показаний у формулі (6.3):

$$\lambda = \frac{c}{f} = c * T \quad (6.3)$$

де  $c$  —  $3 * 10^8$  м/с — швидкість поширення радіохвиль;  $f$  — частота коливань Гц;  $T$  — період коливань, с.

Електромагнітні випромінювання з частотою від 3 до  $3 * 10$  Гц належать до радіочастотного діапазону.

У табл. 6.1 наведена номенклатура діапазонів частот ЕМП.



Таблиця 6.1 — Номенклатура діапазонів частот ЕМП

Назва діапазону	Діапазон частот	Довжина хвилі	Назва діапазону довжини хвиль
Низькі частоти НЧ	0.003...0.3 Гц 0.3...3.0 Гц 3.0...300 Гц 300 Гц...30 кГц	107...106 км 106...104 км 104...102 км 102...10 км	Інфранизькі Низькі Промислові Звукові
Високі частоти ВЧ	30...300 кГц 300 кГц...3 МГц 3...30 МГц	10...1 км 1 км...100 м 100...10 м	Довгі (кілометрові) Середні (гектаметрові) Короткі (декаметрові)
Ультрависокі частоти УВЧ	30...300 МГц	10...1 м	Ультракороткі
Надвисокі частоти НВЧ	300 МГц...3 ГГц 3...30 ГГц 30...300 ГГц	100...10 см 10...1 см 10... 1 мм	Дециметрові Сантиметрові Міліметрові

Електромагнітні поля діапазону частот 30 кГц — 300 ГГц поширюються у просторі без наявності провідника із струмом зі швидкістю, близькою до швидкості світла (300 000 км/с).

Інтенсивність поля в діапазоні частот 30 кГц — 300 МГц оцінюється напруженістю поля. У діапазоні 300 МГц — 300 ГГц поле оцінюється поверхневою густиною потоку енергії (ГПЕ), тобто кількість енергії, яка припадає в одиницю часу на одиницю площі. Одиницею виміру ГПЕ є  $1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

#### 8.4 Проблема утилізації відходів виробництва

Усі міста з їхньою високою концентрацією населення відрізняються утворенням великої кількості промислових та побутових відходів.

Відходи підрозділяються на тверді та рідкі, промислові та побутові. Між містами країн щодо цього є відмінності. Міста Франції та Великобританії щорічно дають промислових відходів до 50 млн т кожне, у ФРН — до 61 млн т, в Італії — до 44 млн т. До цього додаються ще побутові відходи, кількість яких в містах Франції, Великобританії та Італії складає 17 млн т на рік, а у ФРН — 20 млн т на рік. У містах Японії відходів утворюється 920 — 2120 г на одну людину за добу, у Франції — 620 г. Це звичайна кількість для промислово розвинених країн.

Найбільшу кількість відходів у розрахунку на одну людину мають США — їх тут 0,47 — 0,52 т/рік або 1450 г/день. Загальний світовий об'єм відходів перевищує 300 млн. т. Загальний об'єм твердих відходів в Україні складає 10 — 11 млн. т на рік. Звалищами зайняті 2600 га земель. Вважається, що в середньому їх в містах утворюється приблизно 1 тонна на одну людину на рік.

Типовий склад міських відходів такий: папір та картон — 41%, сміття — 17,9%, гума, шкіра та деревина — 8,1%, харчові відходи — 7,5%, метали — 8,7%, скло — 8,2% та ін — 1,6%. Звісно, що структура відходів залежить від національних особливостей та традицій населення. У містах Індії частка харчових відходів мізерна, а в США, навпаки, досягає 21%. Для міст розвинених країн характерна велика частка у відходах пластику різних видів.

Проблема відходів має високу гостроту через низьку швидкість їхнього розкладення. Папір руйнується через 2 — 10 років, консервні банки майже за 100 років, поліетиленові матеріали — за 200 років, пластмаса — за 500 років, а скло для повного розкладу вимагає 1000 років.

Особливу категорію міських відходів складають стічні води в Україні за 1988 рік було випущено 18,7 млрд. стоків, з них 2,6 неочищених. Ступінь забруднення стічних вод оцінюють в «еквівалентах побутових стоків» — ЕПС. Один ЕПС дорівнює кількості органічної забруднюючої речовини, що виробляється однією людиною за добу. Для окислення 1 ЕПС потрібно 60 г кисню.

Звільнення від відходів ведеться в трьох напрямках:

- 1) складування або навіть поховання таким чином щоб вони не впливали негативно на навколишнє середовище;
- 2) знищення відходів шляхом їхнього спалювання;
- 3) очищення від шкідливих речовин, що становить найбільш складний процес, який здійснюється такими способами:
  - а) механічна очищення методом відстою в спеціальних відстійниках рідких стоків, фільтрування і т. п.,
  - б) хімічне очищення, при якій шкідливі компоненти відходів перетворюються в осад або розкладаються,
  - в) фізико-хімічне очищення, головним чином, методом електролізу або іонообмінних смол,
  - г) біологічне очищення за допомогою бактерій або інших живих організмів, здатних розкласти шкідливі речовини в процесі життєдіяльності.

У більшості міст світу переважає вивіз відходів на звалища. На звалищах зберігається багато відходів. Складування відходів на міських звалищах є екологічно найбільш недосконалим способом порятунку від них. Стічні води звалищ токсичні і забруднюють ґрунтові води та ріки. Йде забруднення атмосферного повітря газоподібними речовинами, що утворюються при розкладанні звалених матеріалів.

Іншим способом знищення міських твердих відходів є спалювання. Найчастіше сміття спалюють на звалищах відкритим способом. Дефект спалювання полягає в накопиченні великої кількості попелу, який вміщує чимало токсичних речовин. Та й газоподібні викиди при спалюванні сміття небезпечні, часто виділяється діоксин. Особливо небезпечне відкрите спалювання пластмас. Однак відкрите спалювання побутових та промислових відходів на міських звалищах йде у великих об'ємах.

Тверді міські відходи слід спалювати в спеціальних печах.

Для України прикладом ефективного вирішення проблеми боротьби зі сміттям та стічними водами може бути Франція. Майже в усіх містах усієї країни, є спеціальні сміттєспалювальні засоби, а сміття проходить попереднє сортування. Є велика кількість компостних підприємств, що утилізують побутові відходи та виробляють компост для виноградників та біогаз. Виходить на цей рівень боротьби за чисте екологічне середовище міст і Японія.

Актуальною проблемою міст світу є запобігання утворенню великої кількості відходів. У промисловості для цього необхідно застосовувати особливі технології. У побуті в багатьох випадках досить змінити характер упаковки товарів, щоб різко знизити кількість побутових відходів. У ряді країн Західної Європи вже відмовляються від упаковки молочних продуктів в пластиково-картонні пакети і віддають перевагу тарі — скляним пляшкам та банкам. З утворенням Європейського Союзу почалася своєрідна «війна упаковок» між Німеччиною, Францією та Великобританією, оскільки знищення тари та повернення її виробнику однаково дороге. У США розгорнулася ціла політична кампанія «пляшкових законів» тобто законів, що зобов'язують виробників товарів повернутися від одноразових упаковок до багаторазової тари, зокрема до пляшок.

## 8.5 Висновок до розділу

У процесі науково-технічного розвитку людство додало до фонового випромінювання цілий ряд факторів, які підсилили це випромінювання в декілька разів. В аеропортах та на військових об'єктах працюють потужні радіолокатори, які випромінюють в навколишнє середовище потоки електромагнітної енергії. Потужність та кількість джерел ЕМП постійно зростає.

Електромагнітні поля негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання, а також на населення, яке мешкає поблизу джерел випромінювання. Встановлено, що переважна частина населення знаходиться в умовах підвищеної активності ЕМП.

Ступінь впливу електромагнітних випромінювань на організм людини взагалі залежить від діапазону частот, тривалості опромінення, характеру опромінення, режиму опромінення, розмірів поверхні тіла, яке опромінюється, та індивідуальних особливостей організму.

У результаті дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Ці порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

Для попередження професійних захворювань, які виникають у результаті тривалої дії електромагнітних випромінювань, встановлені гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань, розрахунки яких були проведені у даному розділі. Розраховане граничне допустиме значення щільності потоку енергії не перевищує максимальне значення, отже дана РЛС є безпечною для персоналу.

Рівні ЕМП необхідно контролювати не рідше 1 разу на рік. Якщо вводиться в дію новий об'єкт або здійснюється реконструкція старих об'єктів, то заміри рівня електромагнітних випромінювань проводяться перед введенням їх в експлуатацію.

## ВИСНОВКИ

1. У першому розділі було розглянуто такі питання:

- Керування повітряним рухом та місце радіолокації в даному процесі. Керування повітряним рухом — це комплекс заходів щодо планування, координування, безпосереднього керування рухом ПС і контролю за дотриманням установленого режиму польотів. Радіоелектронні засоби є технічною основою КПР. Поряд з вирішенням завдань радіонавігації одним з основних застосувань радіоелектроніки в авіації є забезпечення зв'язку між авіадиспетчером і пілотом. Здавна радіозв'язок використовувався для виконання завдань КПР, включаючи попередження зіткнень, поширення метеорологічної інформації й передавання оперативних повідомлень.
- Класифікація радіолокаційних систем. Розрізняють такі види радіолокаційного спостереження:
  - Радіолокація з пасивною відповіддю (Рис.1.1), заснована на тому, що випромінююче РЛС коливання (зондуючий сигнал) — відбивається від цілі і потрапляє в приймач РЛС у вигляді відбитого сигналу.
  - Радіолокація з активною відповіддю (рис.1.2), іменована активною радіолокацією з активною відповіддю. Просто активна радіолокація або вторинна радіолокація, характеризується тим, що відповідний сигнал є не відбитим, а перевипроміненим за допомогою спеціального відповідача — ретранслятора.
  - Пасивна радіолокація (Рис.1.3) заснована на прийомі власного радіовипромінювання цілей.
- Завдання, які вирішуються системами вторинної радіолокації
  - Такими завданнями в загальному випадку є:
    - радіолокація (виявлення і визначення координат) об'єктів різного базування — наземних, надводних, повітряних, космічних;
    - навігація (визначення свого місця розташування шляхом визначення координат відомого маяка-відповідача);
    - охорона, контроль доступу до режимних об'єктів;
    - попередження зіткнень транспорту;
    - пошуково-рятувальні роботи за допомогою аварійних маяків;
    - інші завдання, перелік яких постійно розширюється.

- Загальні питання обслуговування повітряного руху і концепція «Free Flight» Є багато аргументів на користь думки, що коли літаки просто літають по бажаних для них траєкторіях, то через їх випадкове розташування і різні місця призначення у більшості випадків автоматично забезпечується також безпечне просторове рознесення траєкторій. Тільки у випадку, коли виникає реальна небезпека зближення літаків, може виявитися необхідним втручання диспетчера. Якщо це дійсно так, то на стадії польоту по маршруту достатньо лише контролювати літаки, а не керувати ними.
2. У другому розділі було розглянуто такі питання:
- Загальні відомості про системи вторинної радіолокації. Системи вторинної радіолокації (СВРЛ) входять до складу апаратури керування повітряним рухом (КПР). До них відноситься комплекс технічних засобів для визначення координат повітряного судна (ПС), їх індивідуального розпізнавання і автоматичного отримання деяких інших даних про стан ВС.
  - Система містить наземний комплекс технічних засобів — вторинний радіолокатор (ВРЛ) і бортовий відповідач, призначений для прийому сигналів запиту, декодування їх даних, формування відповідних сигналів на основі інформації бортових датчиків і випромінювання сигналів відповіді.
  - Різновиди вторинних радіолокаційних систем. Системи ВРЛ вирізняються видом, інформативністю коду й значенням несної частоти сигналів запиту й відповіді. Наприклад, у СРСР було розроблено систему, що багато років діяла на території країни і у країнах-сателітах. Ця система передбачає можливість запиту на одній з трьох частот: 835; 837,5; 840 МГц і відповіді на частотах 730; 740; 750 МГц. У повітряному просторі інших країн ця система не використовувалася. Тому у міжнародних рейсах аерофлоту доводилося додатково використовувати систему Air Traffic Control Radar Beacon System (ATCRBS), прийняту ІКАО, що працює в діапазоні 1030 МГц (запит) і 1090 МГц (відповідь).
  - Функціонування селективної системи вторинної радіолокації. Загальні вимоги до селективних систем зумовлюють їх властивості, які в сукупності становлять основну концепцію функціонування системи. Ключові властивості ВРЛ із режимом S такі:
    - індивідуальна адресація запитів;
    - можливість використання для отримання інформації лише однієї відпові-

ді на індивідуальний запит незалежно від кількості ЛВ, що перебувають у зоні дії запитувача;

- сумісність з існуючими неселективними системами вторинної радіолокації;
- можливість еволюційного впровадження.
- Завади в системах вторинної радіолокації
- Завади, пов'язані з відбиттям від земної поверхні, місцевих предметів, гідрометеоутворень носять по відношенню до ПОРЛ специфічний характер. При цьому виникають специфічні завади, обумовлені використанням принципом «Запит — відповідь», при якому на запит відповідають всі ПС, які прийняли даний сигнал (для систем КПП і RBS). В результаті виникають синхронні і асинхронні завади, що перенавантажують канал зв'язку і порушують роботу самої системи. Особливістю ВОРЛ є також перешкоди, обумовлені передачею і прийомом сигналів по бічних пелюстках Дс антени ВРЛ.
- Синхронні завади відбуваються, коли два або кілька ПС мають близькі значення азимута і дальності. Відповідні сигнали, що передаються кожним з них на однаковій частоті, накладаються, що знижує ефективність ВОРЛ в умовах інтенсивного повітряного руху.

3. У третьому розділі було розглянуто такі питання:

- Загальні відомості про бортові відповідачі. Відповідачі керування повітряним рухом (КПР) призначені для автоматичної передачі авіадиспетчерам інформації, необхідної для управління рухом ЛА. Відповідачі передають сигнали відповіді на сигнали запиту, що випромінюються вторинними радіолокаторами (або вбудованими вторинними каналами оглядових радіолокаторів) і складають разом з останніми систему вторинної радіолокації.
- Бортові відповідачі типу ATCRBS. Це досить простий ламповий відповідач. Багато подібних відповідачів використовуються на практиці, зокрема в авіації загального користування. Випускаються і сучасніші твердотілі відповідачі для транспортної авіації та авіалайнерів. Але в навчальних цілях зручно зупинитися на такій простій системі.
- Відповідач обладнаний супергетеродинним приймачем з одним перетворенням частоти. Традиційно в ньому використовується проміжна частота 60 МГц. Зазвичай відповідач має логарифмічний підсилювач в приймальному каналі. Чому це необхідно? Літаковий відповідач ATCRBS приймає

сигнали від наземних запитувачів, іноді одночасно від кількох ВРЛ, розташованих на різних позиціях. Крім того, він приймає також запити від бортових систем попередження зіткнень типу TCAS, якщо ними обладнані літаки, що перебувають в зоні дії системи. Таким чином, ЛВ повинен приймати велику кількість запитувальних сигналів різного рівня. Такі сигнали можуть виникати з невеликими часовими інтервалами, а можуть бути рознесеними, тобто надходити з певними затримками відносно один одного. За таких умов дуже складно побудувати приймач з автоматичним регулюванням підсилення (АРП), який би відслідковував кожний запит. Тому для оброблення сигналів у широкому динамічному діапазоні прийняті сигнали стискаються по амплітуді за допомогою ППЧ з логарифмічною амплітудною характеристикою (ЛАХ).

4. У четвертому розділі було розглянуто такі питання:

- Загальні відомості про програмовані логічні інтегральні системи. Найбільш просту побудову серед мікросхем програмованої логіки мали програмовані логічні матриці — ПЛМ. Ці мікросхеми склалися з програмованих матриць «І» та «АБО». Як приклад таких мікросхем можна навести мікросхеми РТ1, РТ2, РТ21 серії 556. На рисунку 4.1 зображена внутрішня структура мікросхеми ПЛМ.
- Архітектура мікросхем сімейства Cyclone II Загальна архітектура мікросхеми Cyclone II показана на рисунку 1.3. В структурі мікросхеми показані лише ті ресурси, які розробник може використовувати в своїх проектах і які доступні йому для програмування. Основний елемент мікросхеми це логічний блок (ЛБ), який включає в себе елементарні чарунки мікросхеми — логічні елементи (ЛЕ). В масиві логічних блоків розташовані стовпчики блоків пам'яті та помножувачів. По периметру мікросхеми розміщуються елементи вводу-виводу (ЕВВ), скрізь які виконується обмін мікросхеми інформацією з навколишнім світом. По кутах кристалу розміщені блоки фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Крім показаного на рисунку 1.3 на кристалі розміщується ще вузол конфігурування та конфігураційна пам'ять, які недосяжні користувачу. Перелік ресурсів найменшої та найбільшої мікросхем сімейства Cyclone II наведені в таблиці 4.1.
- Архітектура логічного елемента та логічний блок та конфігурований блок пам'яті М4К. В нормальному режимі роботи (рисунок 1.5) на входи таблиці



перекодування надходять чотири сигнали даних (data 1 .. data 4), а з виходу дані можуть поступати або на вхід конфігурованого тригера, або через матрицю з'єднань на інші елементи мікросхеми. Крім вхідних даних в логічний елемент з логічного блоку надходять також лінії двох локальних сигналів синхронізації (clk 1, clk 2), двох сигналів дозволу роботи (ena 1, ena 2), двох сигналів скидання та сигналу загального скидання кристалу, а також сигнали синхронного завантаження та скидання. Конфігурований тригер, в залежності від режиму роботи, може працювати як D, T, JK або RS тригер. Вихідний сигнал тригера надходить в матрицю з'єднань і може подаватися через лінії зв'язку на будь-який елемент мікросхеми.

- Архітектура блоку ФАПЧ. До складу системи входить фазовий детектор, який визначає різницю в фазі та частоті вхідного сигналу (fвх) та сигналу зворотного зв'язку. Вихідний сигнал формується генератором, що керується напругою. Фільтр низьких частот необхідний для запобігання самозбудженню системи в цілому.
  - В результаті роботи такої системи в ідеальному випадку можна отримати на виході сигнал, що збігається з вхідним сигналом.
  - При подальшому ускладненні системи (рис. 1.10) до неї додаються три лічильники — дільники частоти: вхідний (коефіцієнт ділення M), вихідний (коефіцієнт ділення K) та лічильник у ланці зворотного зв'язку (коефіцієнт ділення N).
  - Знайомство з ПЛІС фірми ALTERA сімейства Cyclone IV
  - Плата розробника розроблена для серії Altera Cyclone IV, оснащена ПЛІС EP4CE6, периферійними роз'ємами, додаткової оперативної пам'яттю, семисегментним дисплеєм, призначеними для користувача кнопками і багатьма іншими корисними аксесуарами на борту і легко інтегрує різні стандартні інтерфейси.
5. У п'ятому розділі розглянуто такі питання:
- Загальні відомості про мову програмування Verilog HDL
  - Незважаючи на те, що в даний момент інформація про базові конструкціях мови Verilog HDL широко представлена і в російськомовних книгах, і в інтернет-документах, вона по більшій мірі є загальнотеоретичною і не містить прикладів конкретних практично реалізованих цифрових схем.
  - Специфікація Verilog HDL в середовищі розробки Quartus II

- Verilog HDL є модульним мовою високого рівня, яка повністю інтегрована в середу розробки Quartus II. Файли проекту Verilog (з розширенням \*.v) можуть бути створені, використовуючи існуючий текстовий редактор Quartus II. Потім вони можуть бути відкомпільовані і промодельовані перед завантаженням в ПЛІС Altera.
- Типи даних, що використовуються в мові програмування Verilog HDL
- Важливою складовою будь-якої мови програмування є типи даних. Унаслідок широкого поширення процесорів разом з пов'язаними з ними мовами програмування за типами даних в масовій свідомості закріпився сукупний образ форм зберігання та представлення інформації з можливими видами операцій над ними. Так, для зберігання чисел цілого типу використовується двійковий ваговий код певної розрядності, а для виконання операцій над ними — бібліотека цілочисельних обчислень і порівнянь.
- Реалізація комбінаційної логіки
- Комбінаційні логічні ланцюги зазвичай використовуються як в лініях даних, так і в лініях управління в більш складних системах. Вони можуть бути створені чи змодельовані по-різному, використовуючи оператори безперервного присвоювання (continuous assignment statements), які включають вираження з логікою, арифметичними операторами і операторами порівняння. Відмінною особливістю безперервного присвоєння є негайна зміна стану ланцюга (wire) при зміні стану вхідних ланцюгів, що впливають на неї.
- Логічні й арифметичні вирази.
- І логічні, і арифметичні вирази можуть бути реалізовані на кремнієвому кристалі ПЛІС, використовуючи логічні, порівняльні (відносні) і арифметичні оператори. Вирази приймають форму безперервних присвоєнь (або призначень в англійському варіанті — continuous assignments) інформації потокового типу. Під безперервністю присвоєнь тут, в першу чергу, розуміється «незалежність» таких присвоєнь від тактових імпульсів, характерна будь-якої комбінаторної логіки. «Залежність» від тактових імпульсів в електричних схемах реалізується різними тригерними і регістровими схемами.
- Логіка з трьома станами.
- Буфер із трьома станами має на увазі присвоєння високоімпедансного значення <Z> об'єкту даних в спеціальній гілці умовного оператора. У разі мо-

делювання багатьох буферів, які пов'язані з одним і тим же виходом, кожен з цих буферів повинен бути описаний в окремому паралельному операторі. Приклад 9 показує чотирибітний буфер з трьома станами, що задається тернарного оператором (? :).

- Приклади типових комбінаційних блоків
  - В цьому підрозділі представлено ряд стандартних комбінаційних блоків і різні способи опису їх в Verilog-кодi. Ці блоки зазвичай представляють конструкції, які використовуються для формування більш складних цифрових проектів. Всі ці проекти легко піддаються зміні, щоб задовольнити потреби специфічного застосування. Різні підходи до синтезу та моделювання використовуються, щоб продемонструвати гнучкість і міць Verilog.
6. У шостому розділі було розглянуто такі питання:
- Загальні відомості про мову програмування Verilog HDL
  - Незважаючи на те, що в даний момент інформація про базові конструкціях мови Verilog HDL широко представлена і в російськомовних книгах, і в інтернет-документах, вона по більшій мірі є загальнотеоретичною і не містить прикладів конкретних практично реалізованих цифрових схем.
  - Специфікація Verilog HDL в середовищі розробки Quartus II
  - Verilog HDL є модульною мовою високого рівня, яка повністю інтегрована в середу розробки Quartus II. Файли проекту Verilog (з розширенням \*.v) можуть бути створені, використовуючи існуючий текстовий редактор Quartus II. Потім вони можуть бути відкомпільовані і промодельовані перед завантаженням в ПЛІС Altera.
  - Типи даних, що використовуються в мові програмування Verilog HDL
  - Важливою складовою будь-якої мови програмування є типи даних. Унаслідок широкого поширення процесорів разом з пов'язаними з ними мовами програмування за типами даних в масовій свідомості закріпився сукупний образ форм зберігання та представлення інформації з можливими видами операцій над ними. Так, для зберігання чисел цілого типу використовується двійковий ваговий код певної розрядності, а для виконання операцій над ними — бібліотека цілочисельних обчислень і порівнянь.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/135/u\\_lectures](http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/135/u_lectures).
2. <http://refsurf.ru/360113071.html>
3. <http://studopedia.org/2-86095.html>
4. <http://www.tosnoaero.ru/library/navigation/navigation03>.
5. [http://kursach37.com/uch\\_cifr\\_t3\\_32.html](http://kursach37.com/uch_cifr_t3_32.html)
6. *Іванець С. А., Зубань Ю. О., Казимир В. В., В. В. Литвинов В. В.*, Проектування комп'ютерних систем на основі мікросхем програмованої логіки, 2007. — 360 с.
7. *Соловійов В.В.*, Основи проектування цифрової апаратури на мові Verilog, 2013. — 197 с.
8. *Охрана труда*. Вопросы техники безопасности, пожарной и взрывной безопасности. Методические указания по дипломному проектированию / Сост.: А. Г. Ревук, Г. М. Франчук. — К.: КИИГА, 1997. — 44 с.
9. <http://eco.com.ua/content/problema-utilizatsii-vidkhodiv>
10. <http://eco.com.ua/content/osoblivosti-ratsionalnogo-prirodokoristuvannya-v-ukraini>