

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроніки
Кафедра електронних приладів та пристроїв**

«На правах рукопису»
УДК 621.386.8

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

_____ Л.Д. Писаренко
“ ” _____ 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 171 –Електроніка
Спеціалізація «Електронні прилади та пристрої»**

на тему: **«Методи підвищення чутливості радіаційних систем
неруйнівного контролю якості виробів»**

Виконав:

Студент 6 курсу, гр. ДЕ-61 М Городецький Богдан Миколайович _____

Науковий керівник:

Доцент, канд. техн. наук **Терлецький О. В.** _____

Нормоконтроль:

Доцент, канд. техн. наук., с.н.с. **Жовнір М.Ф.** _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2018

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) _____ Е л е к т р о н і к и

Кафедра _____ Електронні прилади та пристрої

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність (спеціалізація) – **171– Електроніка (Електронні прилади та пристрої)**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

_____ Л.Д. Писаренко

«___» _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Городецькому Богдану Миколайовичу

1. Тема дисертації «Методи підвищення чутливості радіаційних систем неруйнівного контролю якості виробів»

науковий керівник дисертації Терлецький Олександр Володимирович, доцент,
к.т.н.

затверджені наказом по університету від «_____» _____ 2018 р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації: «_____» _____ 2018 р.

3. Об'єкт дослідження: Методи підвищення чутливості радіаційних систем неруйнівного контролю якості виробів.

4. Предмет дослідження: Дослідження можливості підвищення чутливості рентгенотелевізійного контролю якості виробів апаратними засобами фільтрації шумів у реальній масштабі часу.; схема відеопроцесора має забезпечити статистичну обробку вхідного телевізійного сигналу методом накопичення кадрів телевізійного зображення за час регульованої експозиції;

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: анотація; вступ; огляд науково-технічної літератури по шумам рентгенотелевізійних систем та по усуненню флуктуаційних шумів методом статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення; теоретична частина(розробка структурної та функціональної цифрового сигнального процесора, а також електричної принципової схеми відеопроцесора); висновки; перелік використаної науково-технічної літератури.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: принципова електрична схема відеопроцесора;структурна і функціональна схема цифрового сигнального процесора, плакати з рисунками.

7. Перелік публікацій:

1. Городецький Б.М., Волощенко В.В., к.т.н., доц. Терлецький О.М. «Спеціалізований відео процесор для радіоскопічних систем промислового призначення», XII-а науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки», КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, 19-20 квітня 2018 р.

2. Городецький Б.М., к.т.н., доц. Терлецький О.М. «Алгоритми статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення в реальному масштабі часу», ст.83 – 87. XI-а науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки», КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, 6-7 квітня 2017 р.

3. Городецький Б.М., к.т.н., доц. Терлецький О.М. «Цифровий сигнальний процесор на програмованій логічній інтегральній схемі», ст.165 –170. X-а науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки», НТУУ КПІ, ФЕЛ, 7-8 квітня 2016 р.

8. Дата видачі завдання : 12.02.2018.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд науково-технічної літератури по рентгенотелевізійних системах.	10.04.2018	
2.	Теоретична частина(розробка структурної та функціональної схеми цифрового сигнального процесора)	20.04.2018	
3.	Конструкторсько-теологічна частина(розробка схеми електричної принципової відеопроектора)	30.04.2018	
4.	Написання висновків по роботі.	5.05.2018	
5.	Оформлення пояснювальної записки, креслень, плакатів, підготовка доповіді.	11.05.2018	

Студент гр. ДЕ-61 М

Б.М. Городецький

Науковий керівник дисертації

О.В. Терлецький

РЕФЕРАТ

Методи підвищення чутливості радіаційних систем неруйнівного контролю якості виробів / Магістерська дисертація зі спеціальності **171–Електроніка** спеціалізації «Електронні прилади та пристрої». **Городецький Богдан Миколайович**. НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Факультет електроніки, кафедра електронних приладів та пристроїв. Група ДЕ-61 М. – К.: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2018. – 93 с., іл. 24, табл. 4.

Ключові слова: відеопроцесор; рентгенотелевізійне зображення; статистична обробка ; флуктуаційні шуми; програмована логічна інтегральна схема; цифровий сигнальний процесор.

Короткий зміст роботи: В магістерській атестаційній роботі запропоновано відеопроцесор, що реалізує обробку рентгенотелевізійного зображення в реальному масштабі часу , яка дозволяє виконувати фільтрацію структурних та флуктуаційних шумів. Висвітлено актуальність данної розробки. Було розглянуто готові прилади і способи обробки в рентгенотелевізійного зображення.

Розроблено алгоритми обробки та обґрунтовано вибір елементної бази відеопроцесора. Для реалізації фільтрації флуктуаційних шумів було вибрано програмовану логічну інтегральну схему Intel MAX V а також обґрунтовано її вибір.

А Н О Т А Ц І Я

Для радіаційних систем контролю виробів характерний високий рівень шуму, обумовлений флуктуаціями рентгенівських квантів на вході детектора рентгенівського випромінювання.

Запропоновано цифровий метод обробки рентгенотелевізійного зображення дозволяє отримати цифрову радіограму контрольованого виробу, провести статистичну обробку тіньового рентгенівського зображення з метою підвищення чутливості контролю за рахунок фільтрації флуктуаційних шумів. Крім того, цифрова обробка рентгенотелевізійного зображення в процесі просвічування контрольованого виробу, дозволяє автоматизувати вибір тривалості експозиції, що забезпечує отримання цифрових радіограм з нормованим ступенем почорніння, що є важливим для їх подальшої обробки та розшифрування.

Магістерське дослідження присвячене реалізації цифрового сигнального процесора на програмованій логічній інтегральній схемі, який виконує статистичну обробку рентгенотелевізійного зображення для фільтрації флуктуаційних шумів в реальному масштабі часу. Для забезпечення фільтрації флуктуаційних шумів вибрано програмовану логічну інтегральну схему INTEL MAX V оскільки серед усіх сімейств INTEL ПЛІС MAX V відрізняються найнижчою вартістю логічного елемента і найнижчим енергоспоживанням. Вони також мають достатню кількість логічних елементів, для реалізації алгоритму цифрової статистичної обробки рентгенотелевізійного відеосигналу в реальному масштабі часу.

Проведено огляд науково-технічної літератури з рентгенографії, рентгеноскопії та шумів рентгенотелевізійних систем. Розроблена принципова електрична схема відеопроцесора.

S U M M A R Y

Radiation control systems of products have a high noise level due to fluctuations of X-ray quanta at the entrance of the X-ray detector.

The proposed digital method of X-ray image processing allows to obtain a digital radiograph of controlled product, to carry out statistical processing of shadow X-ray image in order to increase the sensitivity of control due to the filtering of fluctuation noise. In addition, the digital processing of an X-ray image during the illumination of a controlled product allows automation of the choice of the duration of exposure, which provides the reception of digital radiographs with a normalized degree of blackening, which is important for their further processing and decoding.

The objective of master's study is the realization of a digital signal processor, which is based on programmable logic integrated circuits, that would perform statistical analysis of X-ray television image to filter fluctuation noise in real time . Was selected a programmable integrated circuit INTEL MAX V for fluctuation noise filtering, since among all INTEL FPGA families, the MAX V has the lowest cost of the logical element and the lowest power consumption. They also have a sufficient number of logical elements to implement an algorithm for digital statistical processing of X-ray video video in real time.

The review of scientific and technical literature on X-ray, X-ray and noise of X-ray television systems was conducted. The basic circuit diagram of the video processor is developed.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

РТС – рентгенотелевізійна система

РЕОП– рентгенівський електронно-оптичний перетворювач

АЦП – аналогоцифровий перетворювач

ЦАП – цифроаналоговий перетворювач

ПЛІС – програмована логічна інтегральна схема

ЦСП – цифровий сигнальний процесор

АСП – аналоговий сигнальний процесор

MIPS – Million Instructions Per Second (мільйон команд за секунду)

SPI – Serial Peripheral Interface (послідовний інтерфейс периферійних пристроїв)

SRAM – static RAM (статична пам'ять з довільним доступом)

ASP – Analog signal processor (аналоговий процесор сигналів)

DSP – Ddigital signal processor (цифровий процесор сигналів)

Зміст

ВСТУП	12
1. РАДІАЦІЙНІ МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИРОБІВ	15
1.1. Рентгенографія.....	15
1.2. Цифрова (комп'ютерна) рентгенографія	17
1.3. Рентгеноскопія та рентгенотелевізійні системи.....	21
1.3.1. Рентгеноскопія	21
1.3.2. Рентгенотелевізійні системи	22
1.3.3. Рентгенотелевізійна система НОРКА	27
1.3.4. Комп'ютерні технології обробки рентгенотелевізійних зображень	29
Висновки:	31
2. ВІДЕОПРОЦЕСОР ДЛЯ ОБРОБКИ РЕНТГЕНОТЕЛЕВІЗІЙНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ШЛЯХОМ АПАРАТНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ФЛУКТУАЦІЙНИХ ШУМІВ.....	33
2.1. Статистична обробка рентгенотелевізійного зображення	33
2.2. Алгоритм цифрової статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення	34
2.3. Вимоги до роздільної здатності відеопроектора.....	36
2.4. Вимоги до АЦП	36
2.3. Вибір елементної бази цифрового сигнального процесора ...	38
2.4. Quartus Prime	45

2.4.1. Створення файлу проекту.....	46
2.4.2. Аналіз та синтез.....	48
2.4.3. Компіляція.....	49
2.4.4. Часове моделювання.....	50
2.4.5. Програмування конфігураційної пам'яті.....	51
2.5. Мова опису апаратури схем VHDL	52
Висновки:	55
3. ЦИФРОВИЙ СИГНАЛЬНИЙ ПРОЦЕСОР НА ПРОГРАМОВАНІЙ	
ЛОГІЧНІЙ ІНТЕГРАЛЬНІЙ СХЕМІ	56
3.1. Структурна схема відеопроцесора.....	56
2.2. Структурна схема цифрового сигнального процесора.....	60
3.3. Блок синхронізації.....	61
3.4. Цифровий сигнальний процесор.....	63
3.5. Розробка цифрового сигнального процесора в середовищі проективання Quartus Prime	66
3.7. Опис цифрового сигнального процесора на мові програмування VHDL	68
3.9. Схема відеопроцесора електрична принципова	69
Висновки:	71
4. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ВІДЕОПРОЦЕСОРА	71
4.1. Технічні характеристики відеопроцесора.....	71
4.2. Функціональні можливості.....	73
4.3. Органи управління	75
4.2. Вхідні та вихідні роз'єми.....	75
4.3. Ввімкнення пристрою	77

4.4. Режими роботи відеопроцесора	77
4.4.1. Робочий режим	77
4.4.2. Збереження зображень на SD-card	79
4.4.3. Режим налаштування	80
ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84
ДОДАТОК 1.....	86
ДОДАТОК 2.....	87
ДОДАТОК 3.....	88

ВСТУП

Підвищення якості продукції - одне з найбільш важливих науково-технічних і виробничих завдань у різних галузях промисловості: металургійна, автомобільна, авіаційна хімічна та інші. Для контролю якості виробів у вищезазначених галузях промисловості широко застосовують рентгеноскопічні методи неруйнівного контролю. При цьому якість виробів, що контролюються, визначається чутливістю апаратних засобів контролю якості виробів.

Останнім часом до якості виробів пред'являються все більш високі вимоги, що обумовлює необхідність підвищення роздільної здатності та контрастної чутливості рентгеноскопічних засобів контролю. Саме ці параметри рентгенотелевізійних дефектоскопічних установок визначені сучасними європейськими стандартами на апаратуру даного типу [1] . Для підвищення цих параметрів необхідно зменшити шуми рентгенотелевізійного каналу, що обумовлені флуктуаціями рентгенівських квантів на вході детектора рентгенівського випромінювання, шумами телевізійного каналу, що перетворює тіньове рентгенівське зображення об'єкту в телевізійний відеосигнал, шумами квантування телевізійного відеосигналу в процесі перетворення його в цифрову форму.

В рентгеноскопічних системах контролю якості виробів присутній високий рівень шуму, обумовлений флуктуаціями рентгенівських квантів на вході детектора рентгенівського випромінювання. Шуми рентгенівських квантів мають досить високий рівень, який може перевищувати в кілька разів рівень корисного сигналу. Тому на екрані телевізійного монітора тіньове рентгенівське зображення контрольованого об'єкта відтворюється на тлі явно виражених флуктуаційних шумів рентгенотелевізійного каналу, що істотно знижує якість та інформативність тіньового рентгенотелевізійного зображення. Оскільки шуми рентгенівських квантів мають флуктуаційний

характер, для підвищення чутливості рентгенотелевізійних засобів контролю якості виробів зазвичай застосовують статистичні методи обробки рентгенотелевізійного зображення [2]. Для цього в рентгенотелевізійних системах неруйнівного контролю використовують комп'ютерні технології обробки рентгенотелевізійних зображень, наприклад, такі програмно-апаратні засоби, як «Відеорен», «Сова+», «Direcon-S01»[3] та інші. Ці програмно-апаратні комплекси реалізують велику кількість різноманітних функцій обробки рентгенотелевізійного зображення, але на практиці вони в основному використовуються для підвищення чутливості контролю якості виробів за рахунок статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення. Статистична обробка рентгенотелевізійних зображень реалізується шляхом накопичення заданої кількості кадрів рентгенотелевізійного зображення та усереднення накопиченої інформації по кількості кадрів накопичення. При цьому відношення сигнал/шум на виході рентгено-телевізійної системи підвищується пропорційно $\sqrt{N_k}$ накопичення кадрів рентгено-телевізійного зображення. Окрім підвищення чутливості радіоскопічного контролю якості виробів використання комп'ютерних технологій обробки рентгено-телевізійного сигналу дає можливість отримати цифрову рентгенограму контрольованого виробу, як результат контролю виробу.

Але використання вищезазначених комп'ютерних комплексів в реальних виробничих умовах потребує вирішення ряду задач, пов'язаних з узгодженням параметрів відеосигналу рентгенотелевізійного каналу з динамічним діапазоном аналого-цифрового перетворювача на вході комп'ютерних засобів обробки рентгенотелевізійного зображення, а також визначенням необхідної тривалості накопичення рентгенотелевізійного зображення, що залежить від потужності проникаючого рентгенівського випромінювання, ефективності рентгено-оптичного перетворювача, чутливості телевізійної передавальної камери, товщини та матеріалу виробу, що контролюється. Ці задачі доводиться вирішувати оператору в процесі контролю виробів, що потребує часу та знижує продуктивність та якість

рентгеноскопічного контролю в цілому. Слід також зазначити, що використання комп'ютерних технологій обробки рентгенотелевізійного зображення в заводських умовах, а тим більше в польових умовах, не завжди є зручним. Окрім того, рентгенотелевізійна система контролю повинна забезпечувати задану чутливість контролю, бути функціональною і не виконувати ніяких зайвих функцій. Тільки в цьому випадку система контролю буде надійною, продуктивною та нею буде зручно користуватися. Це було покладене в основу розробки спеціалізованого апаратного відеопроцесора, яка проводиться в лабораторії індикаторних пристроїв кафедри «Електронні прилади та пристрої» факультету електроніки Національного технічного університету України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

1. РАДІАЦІЙНІ МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИРОБІВ

1.1. Рентгенографія

Рентгенівський контроль заснований на поглинанні різними матеріалам рентгенівського випромінювання. Поглинання залежить від щільності середовища і атомного номера елементів, що утворюють матеріал. Наявність таких дефектів, як тріщини або раковини, призводить до того, що рентгенівські промені, які проходять через різний матеріал послаблюються по різному. Реєструючи розподіл інтенсивності цих променів, можна визначити наявність і розташування різних неоднорідностей матеріалу. Рентгенівський контроль застосовують для визначення раковин, грубих тріщин, в литих і зварних сталевих виробах завтовшки понад 90 мм і у виробах з легких сплавів товщиною до 250 мм [4].

Одним з поширених і традиційних методів неруйнівного контролю є рентгенографія. Вона заснована на реєстрації на рентгенівську плівку іонізуючого випромінювання після його взаємодії з об'єктом контролю та аналізі отриманого зображення.

Незважаючи на те, що радіографічний контроль вже давно став застосовуватися в промисловості (перша рентгенівська лабораторія, призначена виключно для промислових досліджень, була організована в 1925 р.), до теперішнього часу він є невід'ємною частиною виробничого процесу.

Рентгенівська плівка для промислової рентгенографії складається з емульсії і поліефірної пластикової основи з блакитним відтінком, товщиною 175 мкм. Емульсія нанесена на обидві сторони основи і з обох боків покрита зовнішніми захисними шарами. Емульсія складається з галогенідів срібла в якості фоточутливого матеріалу, присадок і желатина. Галогеніди срібла

утворюють зображення під впливом рентгенівських променів, гамма-променів, вторинних електронів. У звичайній фотоплівці світлочутлива емульсія нанесена тільки з одного боку основи, а на плівках для промислової радіографії вона покриває обидві сторони. Поглинання сильно проникаючого рентгенівського випромінювання або гамма-променів, за рахунок нанесення подвійного шару емульсії, збільшується, тим самим світлочутливе з'єднання срібла більш ефективно поглинає рентгенівське випромінювання. Крім того, два шари емульсії допомагають збільшити контрастність і щільність зображення на рентгенівській знімках [5].

Основні переваги радіографічного контролю:

- Висока чутливість до виявлення дефектів (в середньому 1-2% від просвічуваної товщини) за рахунок того, що на плівках для промислової радіографії емульсія покриває обидві сторони пластини і світлочутливе з'єднання срібла ефективно поглинає рентгенівське випромінювання;
- Документальність результатів контролю (радіографічні плівки можуть зберігатися багато років);
- Наочність результатів контролю (по зображенню дефекту на плівці легко визначається тип дефекту);

Радіографічна плівка демонструє найкращу контрастну і просторову роздільну здатність. Однак поряд з перевагами, рентгенографія має і низку значних недоліків:

- Рентгенографічний метод контролю ефективний тільки в тому випадку, якщо обрані оптимальні режими контролю: визначені геометричні параметри контролю, розмір фокусної плями трубки, фокусна відстань, відстань від контрольованого об'єкта до перетворювача випромінювання, напруга і струм рентгенівської трубки;
- Велика тривалість і трудомісткість процесів обробки плівкового матеріалу;

- Труднощі, пов'язані з організацією плівкового архіву ;
- Складність зберігання плівкової бази даних радіографічного контролю якості виробів.
- Висока вартість плівки та матеріалів для її обробки;
- Порівняно з радіоскопією низька продуктивність контролю;

Враховуючи перелічені недоліки зараз надають перевагу використанню рентгеноскопії та комп'ютерних технологій обробки рентгентелевізійних зображень в промисловій дефектоскопії.

1.2. Цифрова (комп'ютерна) рентгенографія

Цифрова рентгенографія - це один з найпопулярніших методів неруйнівного контролю, при якому зображення досліджуваного об'єкта (отримане за допомогою іонізуючого випромінювання) перетворюється в цифровий сигнал. Далі цей цифровий сигнал за допомогою спеціалізованого ПЗ (програмного забезпечення) перетворюється в двомірний масив даних, які вивчаються і аналізуються.

Суть методу цифрової рентгенографії - використання здатності деяких люмінофорів формувати зображення на кристалах, що утворюють покриття пластини. Під час експозиції екран накопичує енергію іонізуючого випромінювання, в результаті чого формується приховане зображення, здатне зберігатися протягом тривалого часу. Після завершення експонування екран поміщається в сканер, який зчитує приховане в пластині зображення за допомогою інфрачервоного лазера. Лазер стимулює світіння люмінесцентної речовини внаслідок вивільнення накопиченої енергії у вигляді світлових спалахів. Світіння пропорційно кількості квантів, поглинених люмінофором при контролі матеріалу. Спалахи видимого світла перетворюються за допомогою фотоелектронного помножувача в електричні сигнали з наступним формуванням за допомогою АЦП (аналоغو-цифрового перетворювача) цифрових даних, які утворюють матрицю з яскравістю показниками всіх пікселів.

Реєстрація зображення в цифровій рентгенографії представлена трьома основними методами:

1. Метод оптичного переносу рентгенівського зображення з люмінесцентного екрану на ПЗС-матрицю (непряма цифрова рентгенографія);
2. Використання стимульованих люмінофорів з подальшим скануванням рентгенівського зображення;
3. Використання напівпровідникових детекторів (пряма цифрова рентгенографія);

Ще одна принципова відмінність цифрової рентгенографії - це використання багаторазових запам'ятовуючих пластин (на відміну від традиційної рентгенографії, де для отримання результату в якості проміжного носія використовуються рентгенівські плівки). На сьогоднішній день цифрова рентгенографія є найбільш технологічним і ефективним методом радіографії.

Розглянемо комплекс цифрової рентгенографії Карат КР-35ВР.

Карат КР-35ВР - комплекс цифрової рентгенографії з високою роздільною здатністю для використання на найвідповідальніших ділянках контролю, де потрібна висока просторова роздільна здатність, висока продуктивність і надійність обладнання (Рис.1.1).



Рис. 1.1. Карат КР-35ВР

В даному комплексі реалізована унікальна технологія регулювання лазерної плями, що дозволяє досягати оптимальної роздільної здатності і оптимального співвідношення сигнал/шум в залежності від умов і параметрів вимірюваного об'єкта.

У комплексах "Карат" застосована унікальна технологія зчитування інформації з пластини на основі параболичного дзеркала (Photon Collecting System), за рахунок чого досягнуто двох-триразове збільшення відношення сигнал / шум (в порівнянні з найбільш поширеними барабанними сканерами).

Також в комплексах KAPAT KP-35BP нового покоління застосована запатентована технологія TreFoc. Нова унікальна технологія фокусування лазера TreFoc дозволяє налаштовувати розмір лазерної плями. Усередині лазерної трубки знаходиться високоточний механізм діафрагми. Зрушуючи або розсовуючи пелюстки діафрагми, механізм змінює діаметр лазерного променя.

Таблиця 1.1 Технічні данні KAPAT KP-35BP

Технологія TreFoc	Налаштовуваний розмір лазерної плями: 12,5 - 25 - 50 мкм
Розміри скануючих пластин, см	максимальна ширина 35
Час сканування, хв	0,5-2
BSR (Базова Просторова Роздільна Здатність)	30 мкм
Розрядність рівнів сірого	16 біт, 65 536 рівней сірого
Розміри (В×Ш×Г)	40×37×47 см
Електроживлення	100 – 240 V / 50 – 60 Hz, < 140 W
Температурний діапазон	от 10 до 35 °C
Рівень шуму	< 39 dB(A)
Клас лазера	I (EN 60825-1: 1994-03 + A1: 2002-07 + A2: 2001-03) + CFR 1040.10
Об'єм карти пам'яті	SDHC, макс. 32 Гб

Програмне забезпечення	X-Vizor
------------------------	---------

Переваги :

- Дозволяє уникнути «людського фактора» (помилки при проявленні, зберіганні і обробці плівкових носіїв). Раніше були нерідкі випадки, коли в процесі проявлення на плівці з'являлися подряпини, тіні та інші артефакти, тепер цього можна уникнути. Цифровий формат отриманих зображень дає великі можливості для аналізу (зміна масштабу виділеної області, контрастності; застосування цифрових фільтрів і т.д.);
- Значно спрощує зберігання і обробку цифрових носіїв, підвищує збереження носіїв - в процесі тривалого зберігання плівки могли втрачати колір, тьмяніти і ін.;
- Дозволяє знизити витрати на проведення дослідження (за рахунок відсутності процесу проявлення плівок);
- Дає можливість пересилати дані досліджень без втрати якості;
- Дозволяє зменшувати дози опромінення, необхідні для експонування (на відміну від плівкового методу);
- Висока чутливість до іонізуючого випромінювання, а, отже, малий час експозиції (в 2-20 разів нижче в порівнянні з плівкою);
- Можливість багаторазового використання пластин.

Недоліки:

- Мимовільне стирання зображення з часом за рахунок теплових процесів. У деяких пластинах вже за 2 години кількість центрів забарвлення зменшується в 2 рази. Тобто, провівши експонування, краще відразу здійснити оцифровку зображення;

- Якість зображень, отриманих за допомогою запам'ятовуючих екранів, приблизно відповідає якості фотографічних зображень, отриманих за допомогою середньозернистої високочутливої плівки типу D7, що звужує сферу застосування даного методу;
- Спостерігається «хід з жорсткістю» - залежність чутливості від енергії («жорсткості») випромінювання. У міру збільшення енергії іонізуючого випромінювання час експозиції зростає, а чутливість знижується [6].

1.3. Рентгеноскопія та рентгенотелевізійні системи

1.3.1. Рентгеноскопія

Рентгеноскопія (рентгенівське просвічування) - метод рентгенівського дослідження, при якому зображення об'єкта одержують на екрані. Екран вкритий флюорисцентними речовинами (Платино-ціаністий барій, сірчастий цинк та ін.), які дають світіння при дії рентгенівського випромінювання.

Переваги:

- дослідження об'єкта в реальному масштабі часу;
- можливість підлаштування потужності випромінювання.

Недоліки:

- Чутливість до дефектів 3-5%, що є недостатнім при сучасних вимогах до контролю якості виробів, оскільки на екрані присутні флуктуаційні та структурні шуми які маскують зображення;
- Мала роздільна здатність флюорисцентних екранів не дає чіткого зображення;
- Відсутність рентгенограми, як документу контролю якості виробів.

1.3.2. Рентгенотелевізійні системи

Рентгенотелевізійні системи дозволяють в режимі реального часу розглянути внутрішню структуру об'єкту, що контролюється, ідентифікувати сторонні домішки або дефекти.

Здатність рентгенівського випромінювання проникати через об'єкти, які по різному його поглинають, використовується в установках прямого просвічування. Типова рентгеноскопична система прямого просвічування складається з рентгенівської трубки (випромінювача), що створює випромінювання, перетворювача тіньового зображення, блоку обробки і візуалізації. Досліджуваний об'єкт поміщається між випромінювачем і перетворювачем. Проходячи через нього рентгенівські промені втрачають частину своєї енергії і потрапляють на екран перетворювача. Інтенсивність променів в різних областях екрану буде різною і залежати від речовин, з яких складається об'єкт дослідження. Екран перетворювача складається з флюоросцентних речовини. Вплив на нього рентгенівських променів викликає світіння, причому яскравість світіння залежить від енергії випромінювання.

Застосування рентгенотелевізійних систем (РТС) економічно виправдано в порівнянні з рентгенорадіографією завдяки відмові від дорогої рентгенівської плівки і значному зменшенню часу контролю. Існує декілька основних типів РТС, що відрізняються принципом дії перетворювально-підсилюючих ланок тракту. В стандартну РТС входять джерело рентгенівського випромінювання, рентгенооптичний перетворюючий пристрій і система візуалізації. На рис.1.2 зображено схему рентгенотелевізійної дефектоскопічної системи.

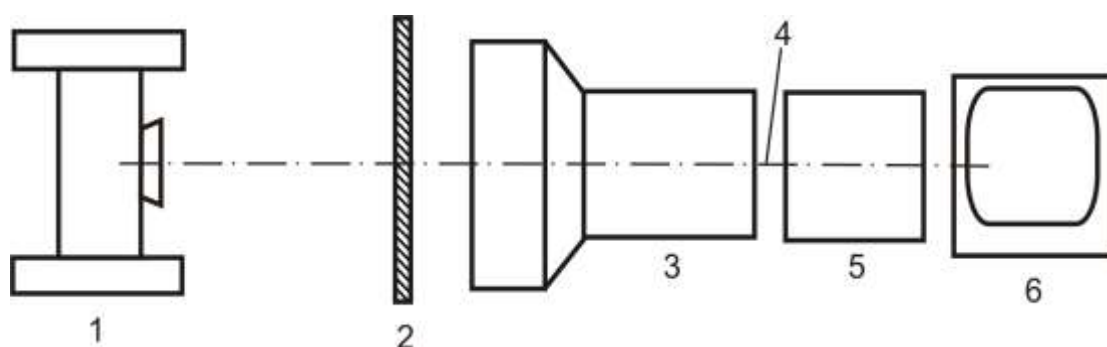


Рис.1.2. Рентгентелевізійна дефектоскопічна система

1 - Джерело випромінювання

2 - Контрольований об'єкт

3 - Пристрій перетворення тіньового рентгенівського випромінювання

4 - Відеосигнал

5 - Процесор зображення

6 - Дисплей

Система візуалізації.

Основне завдання рентгено-оптичного перетворювача – перетворити вхідне рентгенівське випромінювання в оптичне зображення, яке потім буде зафіксовано приймальною камерою і перетворене в електричний сигнал, що поступає на систему візуалізації зображення. Подібні перетворювачі можуть бути побудовані на декількох принципах:

Рентгено-оптичні перетворювачі на основі сцинтиляційного кристала або флуоресцентного екрану. Зовнішній вигляд цього типу перетворювача представлений на Рис. 1.3.



Рис. 1.3 Рентгенооптичний перетворювач на основі сцинтиляційного кристала або флуоресцентного екрану

Перетворювачі цього типу побудовані таким чином. На вході розташовується сцинтилятор, що перетворює рентгенівське випромінювання у видиме світло. З його зворотного боку високочутливою камерою зчитується оптичне зображення. Як камера може застосовуватися або стандартний ізокон, або суперортикон, суміщений з електронно-оптичним підсилювачем світла, або високочутлива ПЗЗ камера. Недоліки перетворювачів цього типу досить очевидні. Через низький коефіцієнт перетворення рентгенівського випромінювання в світло потрібно збільшувати дозу випромінювання на вході перетворювача. Доводиться зменшувати відстань від трубки до кристала і сильно підвищувати потужність, тобто збільшувати анодний струм трубки. Використання рентгенівських трубок високої потужності, які мають відповідно великий розмір фокусної плями, приводить до погіршення просторової роздільної здатності системи: чим більше фокусна пляма, тим нижче роздільна здатність. Крім того, подібні системи володіють досить низьким контрастом. Це пов'язано з тим, що доводиться застосовувати високочутливу камеру, яка володіє низьким відношенням сигнал/шум. До переваг подібних перетворювачів слід віднести можливість їх застосування у разі високоенергетичного випромінювання (десятки мегавольт) за рахунок збільшення товщини сцинтилятора, зокрема, при використанні бетатронів при

просвічуванні стали завтовшки близько 100 мм. Такі перетворювачі здатні досить тривалий час витримувати високі радіаційні навантаження без перекриття деталлю або захисними шторками [7].

Перетворювач на основі вакуумного підсилювача яскравості рентгенівського зображення (РЕОП). У цьому пристрої Рис. 1.4 вхідного екрану перетворювача є елементом вакуумної системи, що використовує метод електростатичного перенесення електронів за допомогою високовольтних прискорюючих електродів на вихідний люмінесцентний екран. Формування зображення відбувається вже на вихідному екрані невеликого розміру – приблизно 25 мм. За рахунок електростатичного підсилення зображення на вихідному екрані дуже інтенсивне, навіть при вкрай малому анодному струмі. Зокрема, багато подібних перетворювачів починають працювати вже з 6 кВ при анодному струмі всього 0,5 мА. Висока освітленість і малий розмір вихідного екрану дозволяють використовувати дзеркало для відведення зображення під 90° при практично повній відсутності спотворень і, завдяки цьому, вивести ПЗЗ-матрицю приймальної камери з прямого пучка рентгенівського випромінювання і поліпшити шумові характеристики.

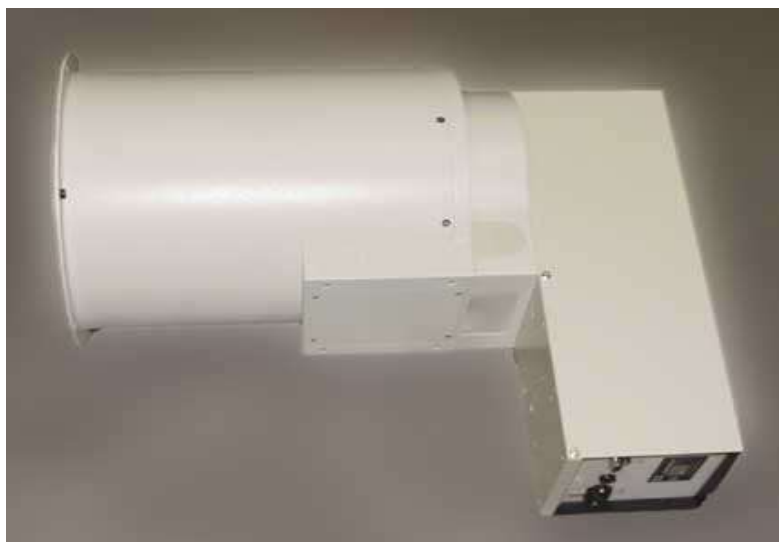


Рис. 1.4 Перетворювача на основі вакуумного підсилювача яскравості рентгенівського зображення (РЕОП)

Крім того, висока освітленість вихідного екрану дозволяє використовувати приймальню ПЗЗ камеру низької чутливості з дуже високим відношенням сигнал/шум. В результаті підвищується контрастна чутливість і роздільна здатність системи. Системи з РЕОП мають режими електронно-оптичного збільшення, що задається перемиканням значень високої напруги на електродах РЕОП. При цьому на вихідне вікно фокусується зображення тільки з частини вхідного вікна і, таким чином, піднімається роздільна здатність системи. Ці особливості забезпечують високу якість зображення, що знижує стомлюваність оператора. До недоліком подібних систем слід віднести їх чутливість до струсів і ударів, що утруднює їх застосування в мобільних РТС [7]

Твердотільний перетворювач на основі аморфного кремнію. Зовнішній вигляд перетворювача на основі аморфного кремнію представлений на Рис. 1.5.

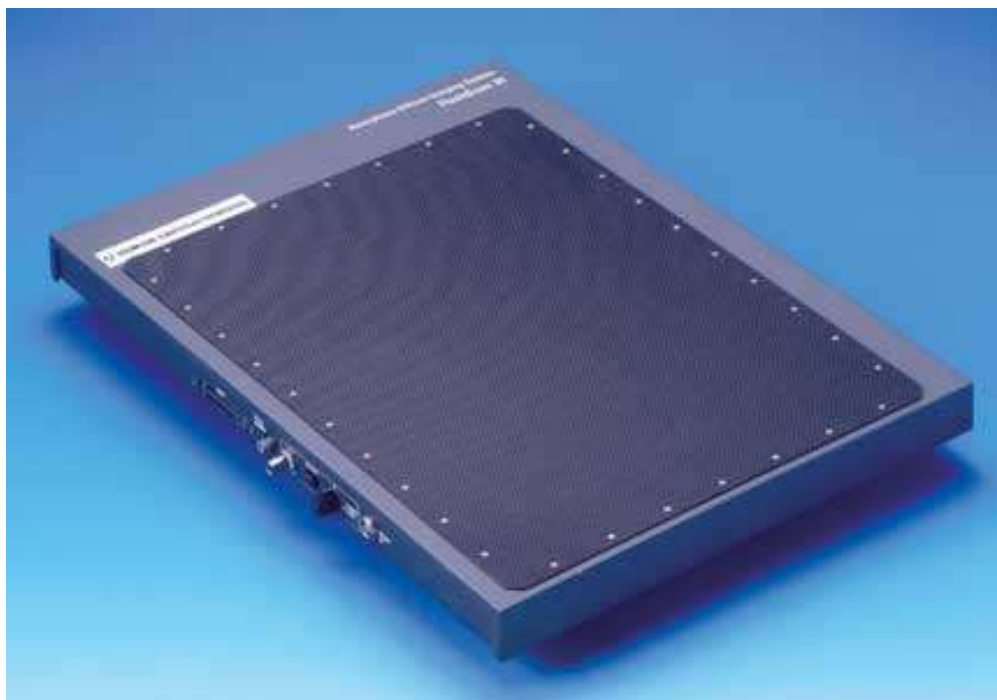


Рис. 1.5 Твердотільний перетворювач на основі аморфного кремнію

Твердотільні перетворювачі цього типу мають більшу роздільну здатність і динамічним діапазоном в порівнянні з РЕОП. Крім того, вони невеликі за

розміром і можуть використовуватися в мобільних РТС. На початковому етапі за рахунок опромінювання потоком рентгенівських квантів шар аморфного селену, який знаходиться в постійному електричному полі великої напруженості, формуються заряди, кількість яких пропорційно інтенсивності рентгенівського потоку в даному місці поверхні пластини. Заряди накопичуються в елементах-накопичувачах (конденсаторах) за всією площею пластини. Потім здійснюється зчитування інформації про розподіл зарядів в плоскій решітці електродів – шарі, що містить напівпровідникові елементи на базі аморфного кремнію, внаслідок чого формуються електричні сигнали, які надалі оцифровуються. Істотний недолік таких перетворювачів – їх ціна. На даний момент дешеві твердотільні перетворювачі (які всього лише в 2 – 3 рази дорожче звичайних РЕОП), є в основному кон'юнктурним виробом і володіють якістю, що практично не перевищує якість РЕОП, при вищій ціні. Крім того, в переважній більшості випадків їх параметри не є реально необхідними для стандартних РТС, і використання таких перетворювачів актуальне тільки при пред'явленні виключно жорстких вимог до результатів контролю [7].

1.3.3. Рентгенотелевізійна система НОРКА

Рентгенотелевізійна система НОРКА призначена для проведення в стаціонарних та польових умовах неруйнівного контролю якості виробів (Рис.1.3).



Рис.1.3. Рентгенотелевізійна система НОРКА

При короткочасному включенні рентгенівського випромінювача, потік випромінювання утворює на екрані перетворювача тіньове оптичне зображення контрольованого предмета. Це зображення зчитується камерою і в цифровому форматі записується в блоці управління. Потім зображення внутрішньої будови предмета виводиться на екран блоку управління. Отримане зображення може бути представлене в позитивному, негативному, і псевдокольоровому вигляді. У разі необхідності отримані зображення записуються в довгострокову пам'ять (архів). В системі застосовується в якості джерела рентгенівського випромінювання мікрофокусний апарат з плавно регульованою анодною напругою. За рахунок малих розмірів фокусної плями з'являється можливість геометричного збільшення окремої ділянки контрольованого об'єкта з метою виявлення більш дрібних деталей.

Таблиця 2.1. Характеристики рентгенотелевізійної системи НОРКА :

Максимальна щільність контрольованих предметів еквівалентна сталевий перешкоді товщиною, мм	при використанні випромінювача PI-100MH; 12/50 при використанні випромінювача PI-150MH. 20/80
Змінні перетворювачі, Розмір робочого поля, мм	114 x 152 (додатково) 190 x 250 (додатково) 300 x 400 (стандартний комплект) 410 x 550 (додатково)
Розмір екрану блоку управління БУ-2М або розмір екрану блоку управління БУ-4:	6,4 "TFT LCD 12" SVGA з високою роздільною здатністю
Кількість збережених зображень	при використанні блоку управління БУ-2М 32 (розширюється до 64 і 128) при використанні блоку управління БУ-4 30000 (не менше)
Методи представлення зображень	У позитивному, негативному, псевдокольоровому і т.п.

Роздільна здатність (діаметр мідного дроту), мм	0.08 (без перешкоди)
Продуктивність контролю	при використанні блоку управління БУ-2М не менш 120 зображень на годину при використанні блоку управління БУ-4 не менш 60 зображень на годину
Режим роботи рентгенівського апарата	Безперервний з тривалістю експозицій від 8 до 25с.

Основні переваги:

- швидке розгортання на місці обстеження;
- висока оперативність в роботі;
- висока продуктивність;
- хороша здатність до виявлення дефектів;
- виключення "мокрого" фотографічного процесу, пов'язаного з обробкою рентгенівських фотоплівки;
- можливість запису тінювих зображень, одержуваних у результаті просвічування, електронну пам'ять приладу для подальшого аналізу і обробки;
- можливість роботи від акумуляторної батареї [8].

1.3.4. Комп'ютерні технології обробки рентгентелевізійних зображень

Чутливість радіоскопічних методів контролю якості виробів обмежена флуктуаційними шумами рентгентелевізійного каналу і для підвищення чутливості рентгентелевізійних засобів контролю якості виробів зазвичай застосовують статистичні методи обробки рентгентелевізійного зображення

[2]. Для цього в рентгенотелевізійних системах неруйнівного контролю використовують комп'ютерні технології обробки рентгенотелевізійних зображень, наприклад, такі програмно-апаратні засоби, як «Відеорен», «Сова+», «Direcon-S01»[3] та інші. Ці програмно-апаратні комплекси реалізують велику кількість різноманітних функцій обробки рентгенотелевізійного зображення, але на практиці вони в основному використовуються для підвищення чутливості контролю якості виробів за рахунок статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення. Статистична обробка рентгенотелевізійних зображень реалізується шляхом накопичення заданої кількості кадрів рентгенотелевізійного зображення та усереднення накопиченої інформації по кількості кадрів накопичення. При цьому відношення сигнал/шум на виході рентгенотелевізійної системи підвищується пропорційно $\sqrt{N_k}$ накопичення кадрів рентгено-телевізійного зображення. Окрім підвищення чутливості радіоскопічного контролю якості виробів використання комп'ютерних технологій обробки рентгенотелевізійного сигналу дає можливість отримати цифрову рентгенограму контрольованого виробу, як результат контролю виробу.

Але використання вищезазначених комп'ютерних комплексів в реальних виробничих умовах потребує вирішення ряду задач, пов'язаних з узгодженням параметрів відеосигналу рентгенотелевізійного каналу з динамічним діапазоном аналого-цифрового перетворювача на вході комп'ютерних засобів обробки рентгенотелевізійного зображення, а також визначенням необхідної тривалості накопичення рентгенотелевізійного зображення, що залежить від потужності проникаючого рентгенівського випромінювання, ефективності рентгено-оптичного перетворювача, чутливості телевізійної передавальної камери, товщини та матеріалу виробу, що контролюється.

Ці задачі доводиться вирішувати оператору в процесі контролю виробів, що потребує часу та знижує продуктивність та якість рентгеноскопічного контролю в цілому. Слід також зазначити, що використання комп'ютерних

технологій обробки рентгентелевізійного зображення в заводських умовах, а тим більше в польових умовах, не завжди є зручним. Окрім того, рентгентелевізійна система контролю повинна забезпечувати задану чутливість контролю, бути функціональною і не виконувати ніяких зайвих функцій. Тільки в цьому випадку система контролю буде надійною, продуктивною та нею буде зручно користуватися.

Висновки:

1. Радіографічна плівка демонструє найкращу контрастну і просторову роздільну здатність, однак рентенографічний метод контролю ефективний тільки в тому випадку, якщо обрані оптимальні режими контролю: визначені геометричні параметри контролю, розмір фокусної плями трубки і т.д., що призводить до зменшення продуктивності контролю якості виробів. Також велика тривалість і трудомісткість процесів обробки плівкового матеріалу та труднощі, пов'язані з організацією плівкового архіву збільшує вартість рентенографічного неруйнівного контролю .
2. Цифрова рентгенографія має ряд недоліків, таких як, мимовільне стирання зображення з часом за рахунок теплових процесів та залежність чутливості від енергії випромінювання, тобто у міру збільшення енергії іонізуючого випромінювання час експозиції зростає, а чутливість знижується. Враховуючи перелічені недоліки, в промисловій дефектоскопії зараз надають перевагу використанню рентгеноскопії та комп'ютерних технологій обробки рентгентелевізійних .
3. Рентгентелевізійні системи дозволяють в режимі реального часу розглянути внутрішню структуру об'єкту, що контролюється, ідентифікувати сторонні домішки або дефекти. Але оскільки чутливість радіоскопічних методів контролю якості виробів

обмежена шумами рентгенотелевізійного каналу, то на екрані телевізійного монітора тіньове рентгенівське зображення контрольованого об'єкта відтворюється на тлі явно виражених флуктуаційних шумів рентгенотелевізійного каналу, що істотно знижує якість та інформативність тіньового рентгенотелевізійного зображення.

4. В рентгенотелевізійних системах неруйнівного контролю використовують комп'ютерні технології обробки рентгенотелевізійних зображень. Використання комп'ютерних комплексів в реальних виробничих умовах потребує вирішення ряду задач, пов'язаних з узгодженням параметрів відеосигналу рентгенотелевізійного каналу з динамічним діапазоном аналого-цифрового перетворювача на вході комп'ютерних засобів обробки рентгенотелевізійного зображення, а також визначенням необхідної тривалості накопичення рентгенотелевізійного зображення. Ці задачі доводиться вирішувати оператору в процесі контролю виробів, що потребує часу та знижує продуктивність та якість рентгеноскопічного контролю в цілому.
5. Для підвищення чутливості рентгенотелевізійних засобів контролю якості виробів зазвичай застосовують статистичні методи обробки рентгенотелевізійного зображення. Статистична обробка рентгенотелевізійних зображень реалізується шляхом накопичення заданої кількості кадрів рентгенотелевізійного зображення та усереднення накопиченої інформації по кількості кадрів накопичення.

2. ВІДЕОПРОЦЕСОР ДЛЯ ОБРОБКИ РЕНТГЕНТЕЛЕВІЗІЙНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ШЛЯХОМ АПАРАТНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ФЛУКТУАЦІЙНИХ ШУМІВ

Проаналізувавши переваги та недоліки різних методів рентгенівського неруйнівного контролю якості виробів було поставлено завдання об'єднати переваги рентгенографії та рентгеноскопії та реалізувати метод апаратної фільтрації рентгенівських шумів з регульованим часом експозиції застосувавши сучасну елементну базу. Цифрова обробка рентгентелевізійного зображення в процесі просвічування контрольованого виробу, дозволила автоматизувати вибір тривалості експозиції, що забезпечує отримання цифрових радіограм з нормованим ступенем почорніння, що є важливим для їх подальшої обробки та розшифрування, а також підвищити чутливість рентгентелевізійного контролю якості виробів до чутливості рентгенографічного контролю.

2.1. Статистична обробка рентгентелевізійного зображення

Шуми рентгенівських квантів мають досить високий рівень, який може перевищувати в кілька разів рівень корисного сигналу. Тому на екрані телевізійного монітора тіньове рентгенівське зображення контрольованого об'єкта відтворюється на тлі явно виражених флуктуаційних шумів рентгентелевізійного каналу, що істотно знижує якість та інформативність тіньового рентгентелевізійного зображення. Чутливість радіоскопічних методів контролю якості виробів обмежена флуктуаційними шумами рентгентелевізійного каналу і щоб підвищити чутливість контролю застосовують статистичні методи обробки рентгентелевізійних зображень.

Статистична обробка рентгенотелевізійних зображень реалізується шляхом накопичення заданої кількості кадрів рентгенотелевізійного зображення. При цьому відношення сигнал/шум на виході рентгенотелевізійної системи підвищується пропорційно $\sqrt{N_k}$ накопичення кадрів рентгенотелевізійного зображення.

Використання цифрової статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення дозволяє отримати цифрову радіограму контрольованого виробу, провести статистичну обробку тіньового рентгенівського зображення з метою підвищення чутливості контролю за рахунок фільтрації флуктуаційних шумів. Крім того, цифрова обробка рентгенотелевізійного зображення в процесі просвічування контрольованого виробу, дозволяє автоматизувати вибір тривалості експозиції, що забезпечує отримання цифрових радіограм з нормованим ступенем почорніння. Що є важливим для їх подальшої обробки та розшифрування.

2.2. Алгоритм цифрової статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення

Алгоритм цифрової обробки рентгенотелевізійного зображення представлений на Рис. 2.1.

У мікропроцесорній системі управління автоматично вибирається порогове значення кількості накопичених кадрів та вноситься в детектор рівня накопичення.

Відеосигнал у аналоговій формі надходить до аналогового сигнального процесора (ASP), виділяється корисний сигнал, розноситься по всьому динамічному діапазону АЦП та оцифровується. Кадр оцифрованого зображення надходячи до цифрового сигнального процесора (DSP) попісельно сумується зі збереженим в ОЗП кадром. Результат сумування заноситься знову в ОЗП. Цей процес триває доки не досягнене порогове значення кількості накопичених кадрів. Після досягнення цього значення виводиться цифрова рентгенограма з

нормованим ступенем почорніння та інтегрованими по поверхні зображення шумами.



Рис. 2.1. Алгоритм цифрової обробки рентгентелевізійного зображення

2.3. Вимоги до роздільної здатності відеопроцесора

Роздільна здатність пристрою по горизонталі визначається кількістю відліків, узятих уздовж активної частини рядка, а по вертикалі кількістю рядків. Для телевізійного формату розкладання роздільна здатність по вертикалі фіксована і дорівнює кількості активних рядків в кадрі, а саме 600. Роздільна здатність вздовж рядка визначається спектром рентгенотелевізійного сигналу. Дослідження показали, що частотний спектр рентгенотелевізійного сигналу не перевищує 6 МГц. Виходячи з теореми Котельникова частота дискретизації вхідного відеосигналу повинна бути не менше 12 МГц. При такій частоті дискретизації і при стандартній тривалості рядка 64 мкс кількість відліків на рядок рівне $(64 \cdot 10^{-6}) \cdot (12 \cdot 10^6) = 768$. Таким чином, мінімальна роздільна здатність рентгенотелевізійної системи складає 768x600 пікселів. Для підвищення роздільної здатності вздовж рядка необхідно підвищувати частоту дискретизації. Якщо як частоту дискретизації вибрати 15 МГц, то роздільна здатність складе $(64 \cdot 10^{-6}) \cdot (15 \cdot 10^6) = 960$ пікселів на рядок. Якщо врахувати, що синхроімпульси і імпульси гасіння не несуть корисної інформації, то роздільна здатність складе 800x600 пікселів, що цілком достатньо для отримання якісного зображення на екрані звичайного телевізійного монітора.

2.4. Вимоги до АЦП

Основні вимоги до АЦП – це його максимальна тактова частота і розрядність. Згідно пункта 2.3. частота дискретизація складає 15 МГц, тому АЦП повинен мати можливість працювати на частоті не нижче 15 МГц. Для забезпечення можливості підвищення роздільної здатності пристрою АЦП повинен забезпечувати як мінімум двократний запас по частоті дискретизації, тобто 30 МГц. Розрядність АЦП також має велике значення. 8-ми бітові АЦП здатні забезпечити 256 градацій рівня яскравості. Рентгенотелевізійне

зображення, як правило, малоконтрастне і розташовується посередині динамічного діапазону відеосигналу. На Рис. 2.2 приведений приклад такого зображення і його гістограма.

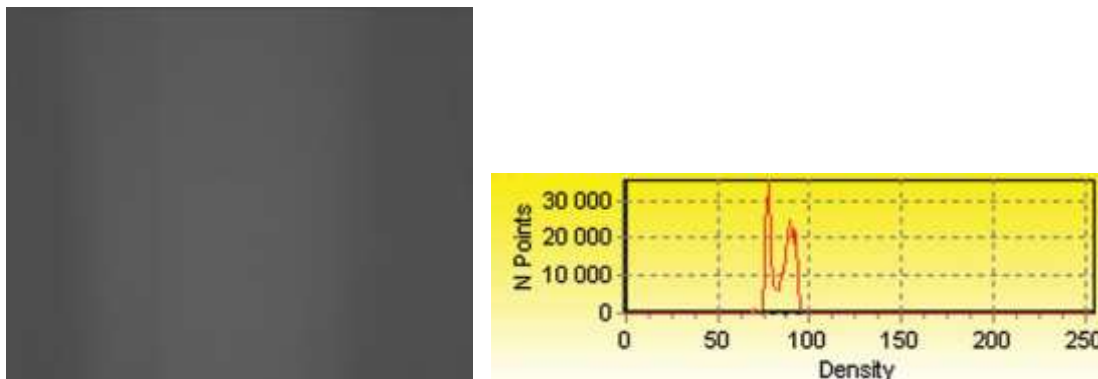


Рис.2.2 Зображення з розрядністю 8 біт і його гістограма

Це призводить до того, що реальна кількість рівнів сірого зменшується пропорційно амплітуді корисного відеосигналу і може опускатися нижче 100 градацій, що є недопустимим. З іншого боку, якщо в цьому ж режимі використовується АЦП з розрядністю 10 біт, то на тій же ділянці буде не 64 градації сірого кольору, а 256. При розтягуванні цієї ділянки на весь динамічний діапазон ми одержимо дуже плавне і якісне зображення Рис. 2.3. Отже, для забезпечення більшої інформативності і збереження корисної інформації цифровий рентгенотелевізійний сигнал слід оцифровувати з розрядністю не меншого 10 – 12 біт.

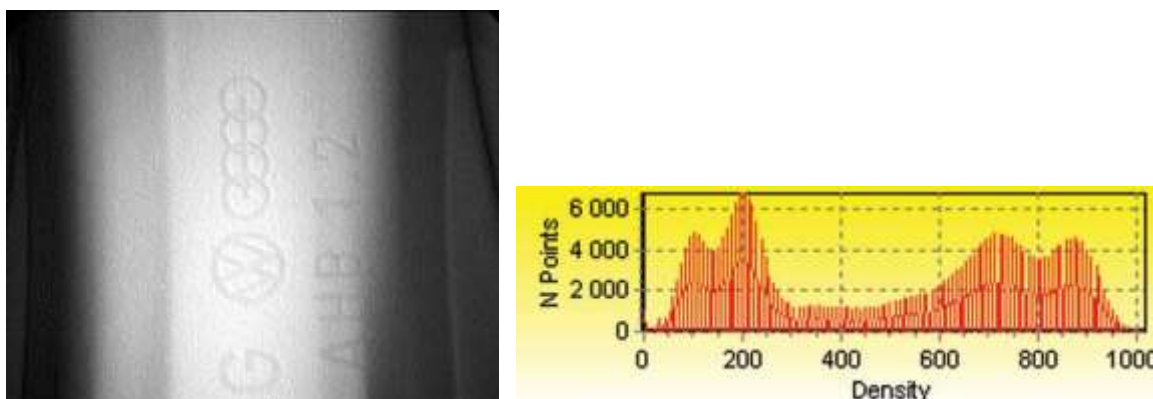


Рис. 2.3 Зображення з розрядністю 10 біт розтягнуте на весь діапазон

Збільшення розрядності АЦП сприяє збільшенню виграшу у відношенні сигнал/шум при цифровому накопиченні сигналу, а також знижує цифровий шум, зменшуючи при цьому загальний рівень шуму у вихідному сигналі. При оцифровуванні відеосигналу велике значення грає його амплітуда. Наприклад, якщо АЦП розрахований на діапазон від 0 до 1 В від піку до піку, а вхідний відеосигнал має, наприклад, амплітуду 0,5 В, то при оцифровуванні буде втрачена половина динамічного діапазону АЦП. Це приводить до необхідності попереднього підсилення відеосигналу для того, щоб забезпечити оцифровування на весь динамічний діапазон АЦП. Тому ще однією важливою вимогою до АЦП є наявність вбудованого відеопідсилювача з можливістю перестроювання коефіцієнта підсилення вхідного відеосигналу.

Як АЦП що задовольняє всім вище перерахованим вимогам був обраний сигнальний процесор фірми ANALOG DEVICES AD9821 з такими основними характеристиками:

- максимальна робоча частота 40 МГц;
- розрядність АЦП 12 біт;
- вбудований відео підсилювач зі змінним підсиленням 0-36 db;
- наявність вбудованої керованої схеми фіксації рівня чорного;
- споживана потужність в робочому режимі 130 мВт, в режимі зниженого енергоспоживання 15 мкВт;
- управління за допомогою периферійного послідовного інтерфейсу SPI.

2.3. Вибір елементної бази цифрового сигнального процесора

Основні операції, які будуть виконуватися над сигналом, – це складання багаторозрядних чисел, порівняння з константою, записаною в регістр, мультиплексування потоків. Частота дискретизації вхідного відеосигналу складає 15 МГц, що відповідає періоду в 66,66 нс. За цей час необхідно

виконати такі операції: рахувати з оперативної пам'яті двохбайтне число, скласти його з одержаним від АЦП 12 розрядним числом і одержану суму знову записати в оперативну пам'ять, до додаткових операцій відноситься порівняння суми з константою і фіксація результату порівняння. Таким чином до апаратної частини пред'являються дуже жорстокі вимоги по швидкодії. Для успішної реалізації пристрою швидкодія апаратної частини повинна складати не меншого 10-15 нс. Таку швидкодію можуть забезпечити мікросхеми програмованої логіки, які містять вбудовані помножувачі, схеми арифметичного переносу і великий об'єм оперативної пам'яті всередині кристалу.

ПЛІС- це електронний компонент, що використовується для створення цифрових інтегральних схем. На відміну від звичайних цифрових мікросхем, логіка роботи ПЛІС не визначається при виготовленні, а задається за допомогою програмування. Для цього використовуються програматори і налагоджувальні середовища, що дозволяють задати бажану структуру цифрового пристрою у вигляді принципової електричної схеми або програми на спеціальних мовах опису апаратури (Verilog, VHDL, AHDL та інші).

Одна з головних переваг ПЛІС - це їх універсальність і гнучкість. Універсальність полягає в тому, що можна побудувати практично будь-які рішення, що виконані на спеціалізованих мікросхемах, а також замінити будь-який мікроконтролер або DSP-процесор, вигравши при цьому в продуктивності, тому, що FPGA матриці, як правило, виконані на технічних процесах високої точності (на сьогоднішній день - 28 нм). Гнучкість полягає в тому, що можна, наприклад, мати одну налаштовану плату з ПЛІС і потім адаптувати її під різні додатки, не боючись, що як мінімум 5-7 років апаратне рішення застаріє або ПЛІС знімуть з виробництва (за умови застосування нових сімейств).

Зазвичай, сама мікросхема ПЛІС складається з:

- логічних блоків, що реалізують необхідну логічну функцію;
- програмованих електронних зв'язків між логічними блоками;
- програмованих блоків введення / виводу, що забезпечують зв'язок зовнішнього виведення мікросхеми з внутрішньою логікою.

В сучасних ПЛІС часто бувають вбудовані додатково блоки пам'яті, блоки DSP або помножувачі, PLL і інші компоненти.

Розробник проекту для ПЛІС зазвичай просто описує бажану логіку роботи у вигляді схеми або тексту на Verilog / VHDL. Компілятор, знаючи внутрішній устрій ПЛІС сам намагається розмістити необхідну схему за наявними конфігурованими логічними блоками і намагається поєднати ці блоки за допомогою наявних програмованих електронних зв'язків. У загальному випадку розміщення і трасування зв'язків між логічними блоками в ПЛІС залишається за компілятором.

Класифікація ПЛІС за типом зберігання конфігурації:

- **SRAM-Based.** Це одна з найпоширеніших різновидів ПЛІС. Конфігурація ПЛІС зберігається осередках статичної пам'яті, виготовленої за стандартною технологією CMOS. Перевага цієї технології - можливість багаторазового перепрограмування ПЛІС. Недоліки - не найвища швидкодія, після включення живлення прошивку потрібно знову завантажувати. Значить на платі повинен ще стояти завантажувач, спеціальна мікросхема FLASH або мікроконтролер - все це робить кінцевий виріб дорожчим.
- **Flash-based.** У таких мікросхемах зберігання конфігурації відбувається у внутрішній FLASH пам'яті або пам'яті типу EEPROM. Такі ПЛІС краще тим, що при виключенні живлення прошивка не зникає. Після подачі живлення мікросхема знову готова до роботи. Однак, у цього типу ПЛІС є і свої недоліки. Реалізація FLASH пам'яті всередині CMOS мікросхеми - це не просто. Потрібно поєднати два різних технічних процеси для виробництва таких мікросхем. А це значить, що вони

виходять дорожчими. Крім того, такі мікросхеми, як правило, мають обмежену кількість циклів перезапису конфігурації.

- **Antifuse.** Спеціальна технологія по якій виконуються одноразово програмовані ПЛІС. Програмування такої ПЛІС полягає в розплавленні в потрібних місцях чіпа спеціальних перемичок для утворення потрібної схеми. Недолік - власне програмувати / прошивати чіп можна тільки один раз. Після цього виправити вже нічого не можна. Сам процес прошивки досить не швидкий. Зате є маса переваг у таких ПЛІС: вони досить швидкі (можуть працювати на високих частотах), менше схильні до збоїв при радіації - все через те, що конфігурація виходить у вигляді перемичок, а не у вигляді додаткової логіки, як у SRAM-based .

У документації компанії Альтера зустрічається вираз Logic Array Block (LAB) - масив логіки. У компанії Xilinx в мікросхемах ПЛІС є приблизно такі ж блоки - Configurable Logic Block (CLB). Логічний блок - це базовий елемент в ПЛІС, в ньому може бути виконана якась проста логічна функція або реалізовано зберігання результату обчислення в регістрах (тригерах). Складність і структура логічного блоку (CLB) визначається виробником. Теоретично, логічний блок може бути, наприклад, дуже простим, просто як окремий транзистор. Або він може бути дуже складним, як цілий процесор. У першому випадку буде потрібно величезна кількість програмованих зв'язків, щоб потім з окремих транзисторів зібрати необхідну схему. У другому випадку зв'язків може потрібно і не так багато, але втрачається гнучкість проектування схеми. Саме тому логічний блок зазвичай представляє з себе щось середнє: він зазвичай досить складний, щоб можна було б зашити туди деяку функцію, і досить малий, щоб розмістити безліч таких блоків всередині ПЛІС і, щоб була можливість зв'язати їх в єдину схему. Таким чином, вибір структури логічного блоку виробником ПЛІС - це завжди пошук компромісу по площі кристала, по швидкодії, енергоспоживання і так далі. Логічний блок може складатися з одного або

декількох базових логічних елементів. В англomовній літературі це Basic Logic Element (BLE) або просто Logic Element (LE). У ПЛІС зазвичай використовуються так звані LUT-based базові логічні елементи (Рис.2.4). LUT - це Look-Up Table, таблиця перетворення. Наприклад, на Рис.2.4. показаний чотирибітний LUT в складі базового логічного блоку. Тут чотирибітному

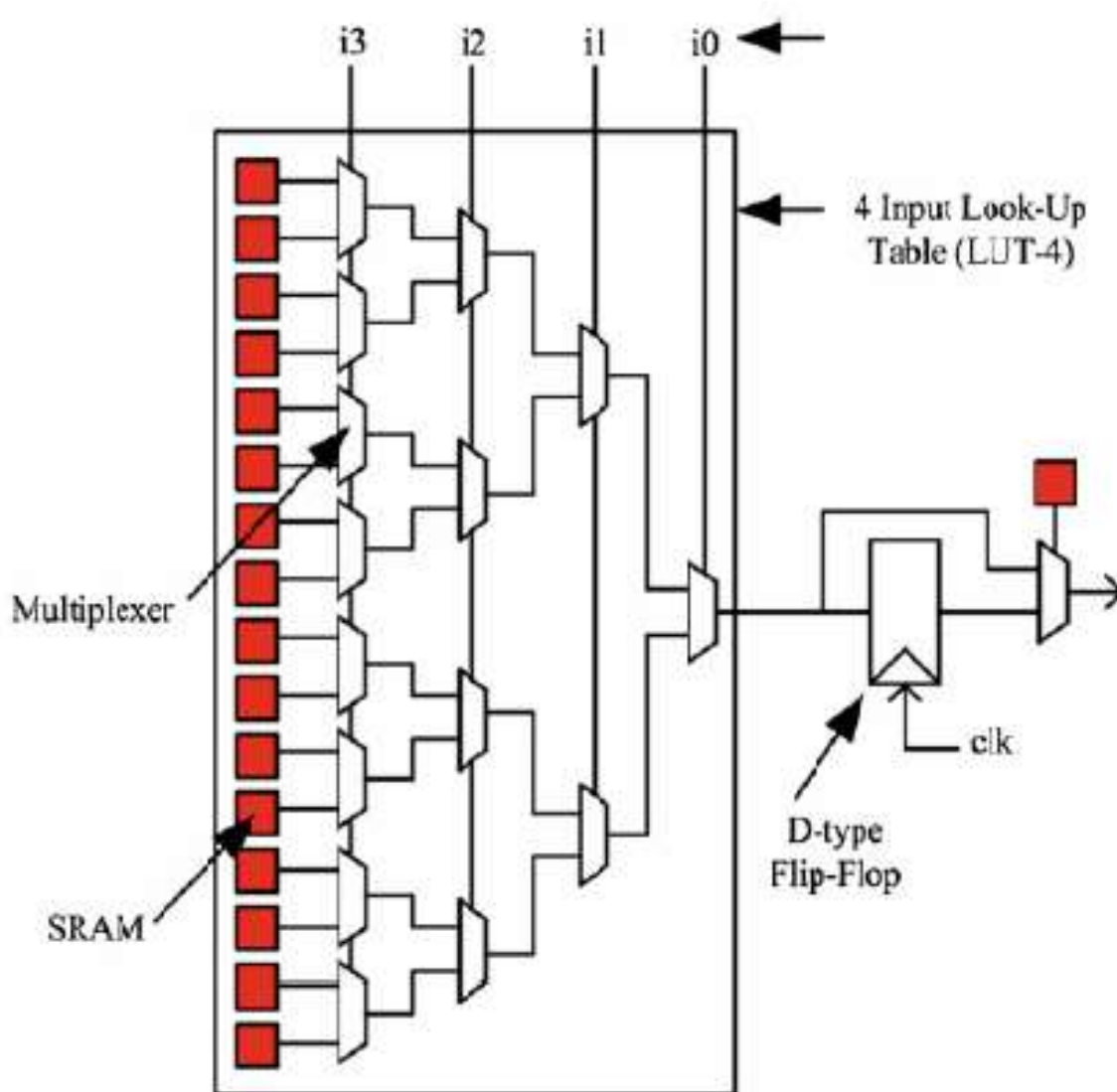


Рис. 2.4. Приклад традиційного базового логічного елемента.

числу на вході логічні функції ставиться у відповідність одnobітний результат. Чорні квадратики на Рис. 2.4. позначають програмований

елемент, регістр - це та пам'ять, де зберігається прошивка для ПЛІС. Видно, що для конфігурації 4-х бітного LUT потрібно 16 конфігураційних регістрів. Вміст цих регістрів визначають логічну функцію, реалізовану всередині базового логічного елемента. Ще один конфігураційний регістр (на Рис. 2.4. це червоний квадратик праворуч) визначає чи потрібно на вихід базового логічного елемента видавати прямо значення з LUT або потрібно видати зафіксоване в D-тригері значення з LUT. Фіксація і зберігання даних в цифрових схемах потрібна практично в будь-якому проекті [9].

Основною перевагою ПЛІС є велика кількість програмованих ресурсів, які дозволяють організувати паралельні обчислення, продуктивність яких може легко забезпечити обробку рентгенотелевізійного зображення в реальному масштабі часу. При цьому дуже важливим є можливість побудови на ПЛІС необхідної структури цифрового сигнального процесора. Наявність на кристалі ПЛІС необхідних компонентів і засобів конфігурації дозволяє реалізувати алгоритм обробки відеосигналу адекватний розв'язуваній задачі, що забезпечує високу ефективність обчислень.

Виходячи з перерахованих властивостей ПЛІС, можна зробити висновок, що системи на ПЛІС найдоцільніше розглядати в задачах, орієнтованих на одноманітну інтенсивну обробку потоку даних, переважно паралельну або багатоканальну, з масовим зверненням до пам'яті, що характерно для статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення в реальному масштабі часу.

На сьогоднішній день, існує великий спектр ПЛІС, які дозволяють реалізувати швидкодіючі алгоритми обробки рентгенотелевізійного зображення.

При виборі ПЛІС треба враховувати основні параметрами і системні особливості, які можна розділити на три групи: функціонально-технічні, технологічні та загальнотехнічні.

До першої групи належать такі параметри: кількість логічних вентилів, кількість вбудованих процесорів і при необхідності аналого-цифрових

перетворювачів, наявність вбудованих блоків помножувачів, кількість внутрішніх блокових ОЗП, кількість і типи внутрішніх буферів з можливістю перемикання в високоомний стан для організації системних двонапрямлених шин, наявність високошвидкісних трансиверів, наявність функцій індивідуального контролю високоомного стану і часу наростання фронту вихідного сигналу по кожному зовнішньому виводу.

До другої групи належать такі параметри, як швидкодія, надійність, номенклатура і значення напруги джерел живлення, ємність пам'яті різних типів та ін.

До третьої категорії відносяться параметри, які визначаються предметною областю і умовами експлуатації розроблювального виробу. При цьому взято до уваги такі параметри: робочий діапазон температур, вартість засобів розробки, що включає вартість програмного забезпечення і вартість апаратних засобів налагодження, вартість обладнання для програмування ПЛІС або конфігураційних ПЗУ, наявність методичної та технічної підтримок, наявність і надійність постачальників мікросхем і безпосередньо їх вартість та ін.

Оптимальним вибором за критеріями ціни та ресурсів є ПЛІС фірми INTEL MAX V. Крім трансиверів мікросхеми містять апаратні помножувачі і блоки вбудованого ОЗП. Також перевагою є те, що для MAX V не потрібен тепловідвід, що спрощує дизайн друкованої плати, та зменшує вартість монтажу. У Таблиці 2.1. характеристики MAX V 5M1270Z . Ці мікросхеми мають максимальну робочу частоту 304 МГц (швидкодія 3.2 нс). Підтримка проектування ПЛІС MAX V забезпечується програмним пакетом Quartus Prime, який є у вільному доступі. Другим важливим елементом пристрою, до якого пред'являються жорстокі вимоги по швидкодії, є оперативна пам'ять. Час доступу до даних в оперативній пам'яті не повинен перевищувати 10-15 нс.

Таблиця 2.1. Характеристики MAX V 5M1270Z

Характеристики	5M1270Z
Кількість логічних елементів	1,270
Кількість еквівалентних макрокомірок	980
Flash-пам'ять користувача (кбіт)	8,192
Максимальна кількість пінів для користувача	271
Максимальна затримка між вхідними и вихідними виводами (нс)	6.2
Максимальна тактова частота (MHz)	304

2.4. Quartus Prime

Quartus Prime - це система проектування на ПЛІС INTEL , що підходить для усіх випущених сімейств мікросхем INTEL. Це саме система, так як, вона включає весь необхідний набір утиліт, підпрограм і налаштувань для повного створення проекту. Всі підпрограми і утиліти Quartus Prime можна розділити на групи згідно з етапами виконання проекту на ПЛІС, які виглядають наступним чином:

1. Створення файлу проекту.
2. Аналіз і синтез проекту.
3. Трасування зв'язків і розміщення проекту.
4. Тимчасової аналіз за допомогою утиліти Time Quest. При необхідності створення бази даних для передачі в іншу САПР для моделювання.
5. Програмування конфігураційної пам'яті.

2.4.1. Створення файлу проекту

Файл проекту можна створювати на апаратних мовах, графічному редакторі і редакторі кінцевих автоматів. Апаратні мови опису, що використовуються в Quartus Prime, загальновідомі - це VHDL (розширення файлу * .vhd), Verilog (* .v) і System Verilog. Ви можете, при створенні проекту, вибрати будь-яку мову з перерахованих вище, який вам більше. Однак слід врахувати, що майже всі IP-ядра, що поставляються з середовищем Quartus Prime, написані на мові Verilog, а на мові System Verilog - найсучасніші ядра. При компіляції деяких ядер, відмінних від написаних на Verilog, можуть з'являтися помилки або зауваження, котрі потім необхідно усунути. Текстовий редактор можна використовувати будь-який, але той, який вбудований в Quartus Prime, дозволяє наступне:

- вносити групові коментарі;
- можливість використання мовних шаблонів;
- синтаксична підсвічування;
- пошук за ключовим словом;
- можливість згортання великих функцій;
- написання скриптів TCL.

Графічний редактор продовжує підтримуватися Quartus Prime від версії до версії, так як існує велика кількість інженерів, яким зручніше саме такий спосіб опису проекту. Але, найчастіше, застосовується змішане проектування з мовним описом блоків і схемотехнічним описом взаємодій цих блоків проекту. Файл графічного редактора має розширення * .bdf. Утиліта графічного редактора Mega Wizard Plug in manager пропонує широкий набір різноманітних IP-функцій:

- арифметичні (помножувачі, сумматори, подільники);
- пам'ять (RAM (1 і 2 портів), ROM (1 і 2-портів), FIFO, зсувний регістр на базі ОЗУ);
- логічні примітиви (і, або; або-ні і т.д.)

- функції введення-виведення (буфери, а також фазові автоналаштувальники частоти);

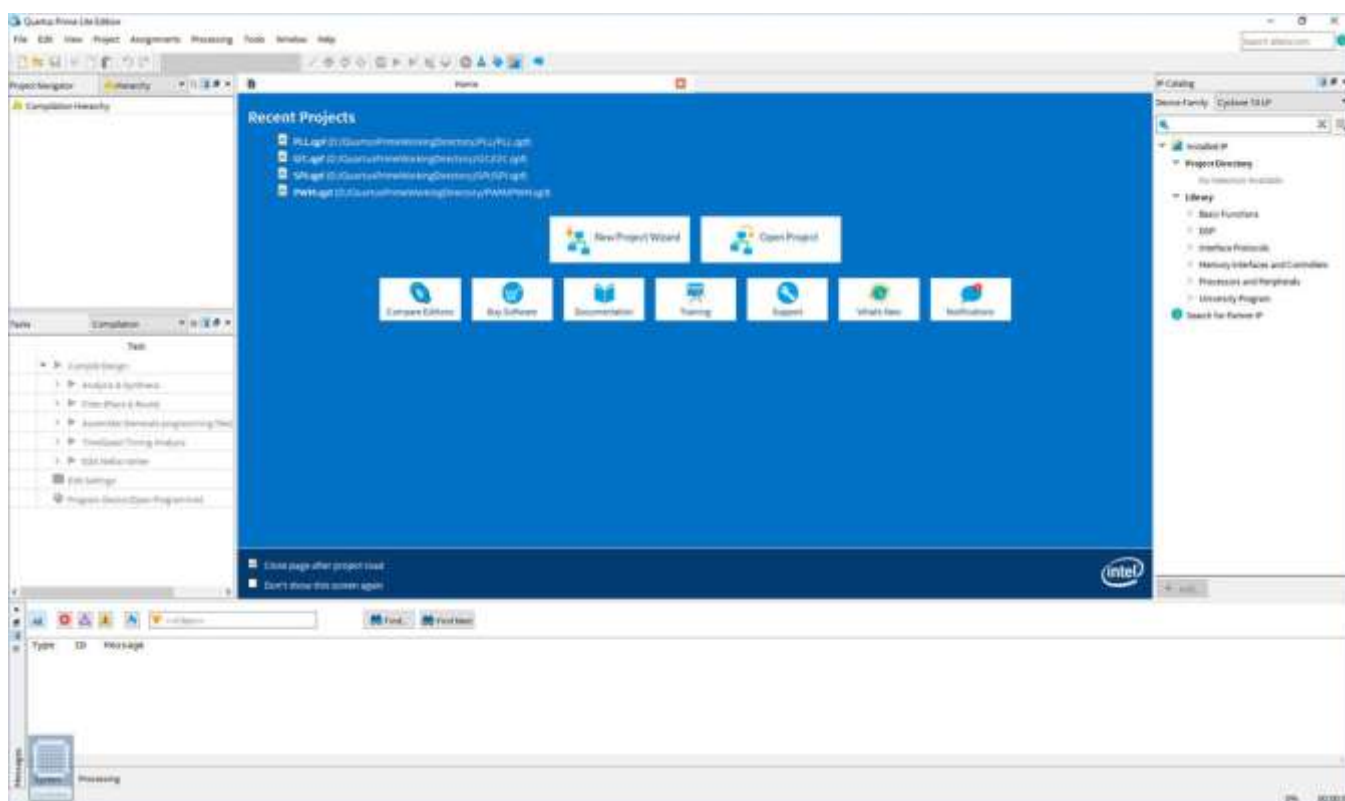


Рис. 2.5. Інтерфейс Quartus Prime

Редактор пам'яті ROM. Дуже зручна утиліта для створення власних табличних значень. Наприклад, можна створити таблицю синусів (адреса - це аргумент функції, значення - це значення осередки пам'яті) або змодельовати сигнал в оболонці Matlab і одержані значення записати в таблиці пам'яті. Також такий редактор може використовуватися для запису стійких станів при створенні, наприклад, модулятора. Значення можна записувати як в двійковому, так і в шістнадцятирічному поданні. Записані вами значення будуть зберігатися в конфігураційній пам'яті або флеш-пам'яті, якщо мова йде про CPLD.

Редактор кінцевих автоматів (state machine) - єдиний файл проєкта, який не може перебувати у верхньому рівні ієрархії. Існує для створення автомата станів з назначенням умов переходу в графічному вигляді (графами) з можливістю подальшого перетворення в HDL мову (будь-яку) для можливості перегляду реалізації вашого автомата.

2.4.2. Аналіз та синтез

Синтез - це процес створення проекту з урахуванням особливостей мікросхеми (ОЗУ, DSP-блоків, логіки) для перегляду використання ресурсів на ранньому етапі. Реальне використання ресурсів матриці буде видно тільки після компіляції. Цифри, показані в синтезі, можуть відрізнятися до 20-30%. Для того, щоб оцінити, чи правильно виконана поведінкова модель вашого проекту після синтезу в Quartus Prime, можна переглянути часові діаграми без урахування трасіровочних особливостей, хоча можна задати і режим симуляції з прив'язкою до часу. На цьому етапі проектування вже необхідно користуватися установками (Settings) і призначеннями (Assignments). Установки (Settings) - це такі глобальні настройки, як:

- вибір мікросхеми, хоча він виконується і при старті проекту;
- оптимізатор синтезу (по часі);
- найпростіші установки фіттера (трасувальника);
- установки аналізатора оцінки потребляють потужності.

За допомогою аналізатора потужності можна отримати приблизний розрахунок споживання потужності за результатами синтезу (з вказанням тактової частоти і параметра toggle rate, типу мікросхеми, використання логічних елементів).

На етапі синтезу можна оптимізувати лист зв'язків 2-ма способами:

- 1) отримати після синтезу файл в графічному редакторі RTL-Viewer, відредагувати його і знову відправити на синтез.
- 2) за допомогою Gate-level оптимізації можна здійснювати тимчасове вирівнювання між регістрами всередині матриці, наприклад, час проходження сигналу між регістрами R1 і Rn, рівне 15 нс, вирівнюється по співвідношенню $15 / n$.

2.4.3. Компіляція

В САПР Quartus Prime існує два типи компіляції:

- глобальна, тобто проект компілюється весь одночасно;
- інкрементальний, тобто часткова.

Перед запуском компіляції проекту необхідно виконати налаштування (assignments).

Pin Planner утиліта, що дозволяє призначати сигнали на фізичні виводи мікросхеми. Їх можна призначити як жорстко прив'язаними, так і перекидати за певними правилами (в межах банку) для поліпшення результатів трасування. Тут же призначаються групи зв'язків, наприклад це шина, яку необхідно вирівняти.

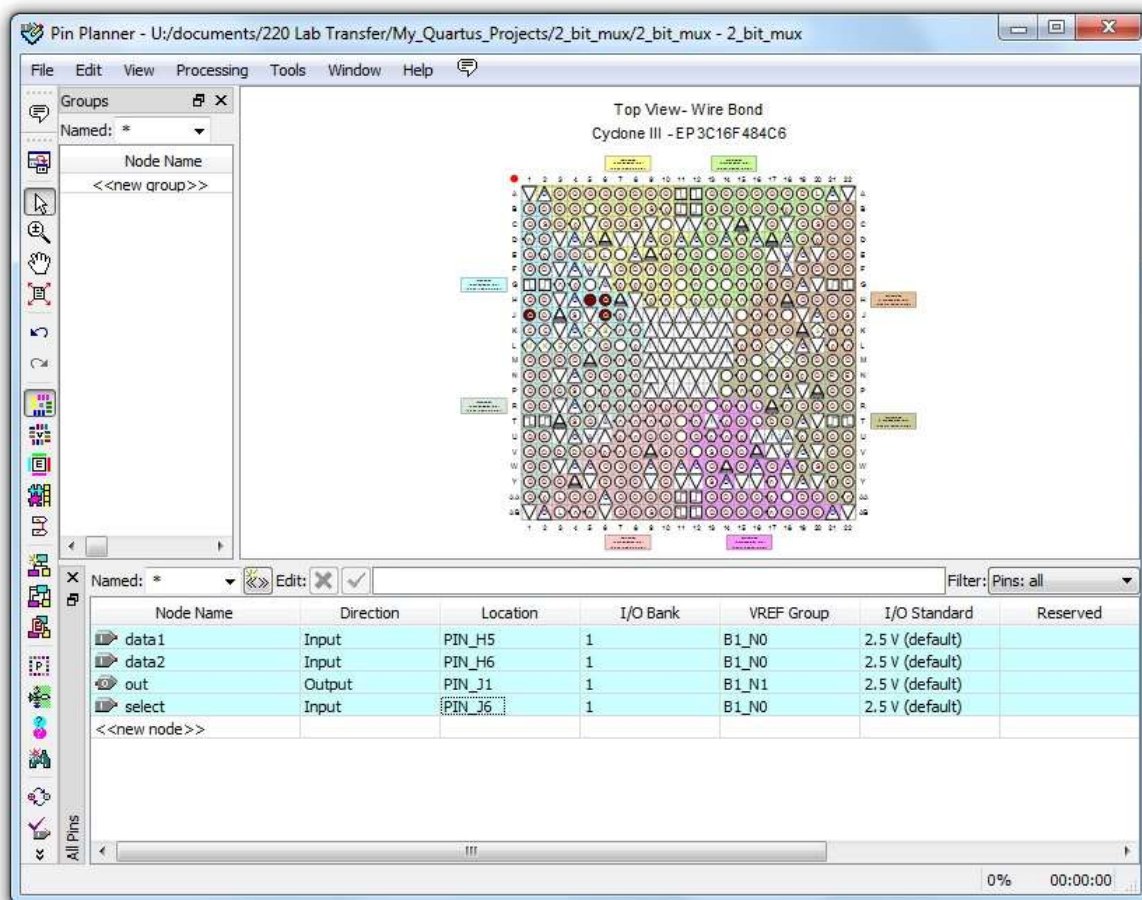


Рис. 2.6. Утиліта Pin Planner

Виводи в Pin Planner відрізняються формою і кольором для позначення:

- поділу на банки;
- диференціальних пар;
- виводів ФАПЧ;
- виводів живлення і тих, які не використовуються (сірим кольором);
- призначених і непризначених виводів.

Призначати виводи можна перетягуванням з вікна списку сигналів.

Практично завжди трасування кристала потрібно узгоджувати з трасуванням друкованої плати (щось виходить в платі, але не виходить в матриці, і навпаки). Тому для трасування плат Інтел рекомендує користуватися пакетом від компанії Ментор-Графікс. Цей пакет працює з нет-листом, переданим від САПР Quartus Prime. При цьому значно спрощується створення символу посадкового місця корпусу, оскільки в Mentors Graphyucs вже є розпіновка ПЛІС Інтел.

Для установок трасування все частіше застосовують TCL-скрипти. TCL-скрипт на більш низькому рівні описує конструкцію, яку ви обираєте для інтерпретації функціональної поведінки, описаної мовою HDL.

Chip Planer - утиліта, що дозволяє переглядати топологію мікросхеми та редагувати її поле трасування. Вона може бути застосована в таких випадках:

- коли не влаштовує працездатність пристрою;
- не використовувалися рекомендації при трасуванні;
- невірне кодування.

Вдаватися до коректування в Chip Planer рекомендується лише досвідченим інженерам, які мають достатній досвід роботи з ПЛІС.

2.4.4. Часове моделювання

Часове моделювання проводиться за допомогою доданого (входить в комплект пакета Quartus Prime) програмного продукту Model Sim від Mentors Graphyucs, який поставляється в залежності від виду ліцензії - з обмеженням

загального розміру коду (Starter Edition) і без нього (Altera Edition). Однак слід пам'ятати, що жодна з поставляються разом з Quartus Prime версій Model Sim не підтримує моделювання програм, написаних на 2-х мовах одночасно. Таке можливо лише при використанні версії Model Sim SE з відповідною ліцензією від Mentors Graphyucs. При установці версії SE створювати і налагоджувати проекти стає можливим безпосередньо в самому середовищі Model Sim і лише потім передавати їх в Quartus Prime для прив'язки до конкретного корпусу ПЛІС.

У розрізі моделювання варто також згадати Signal Tab. Ця утиліта є внутрішнім цифровим аналізатором. Вона забирає ресурс пам'яті і логіки в ПЛІС і записує туди сигнали її роботи, які потім відображаються у вигляді діаграм, однак не відображає тактовий сигнал.

2.4.5. Програмування конфігураційної пам'яті

Програмування перевіреного в симуляторі проекту здійснюється тут же в Quartus Prime за допомогою утиліти Programmer.

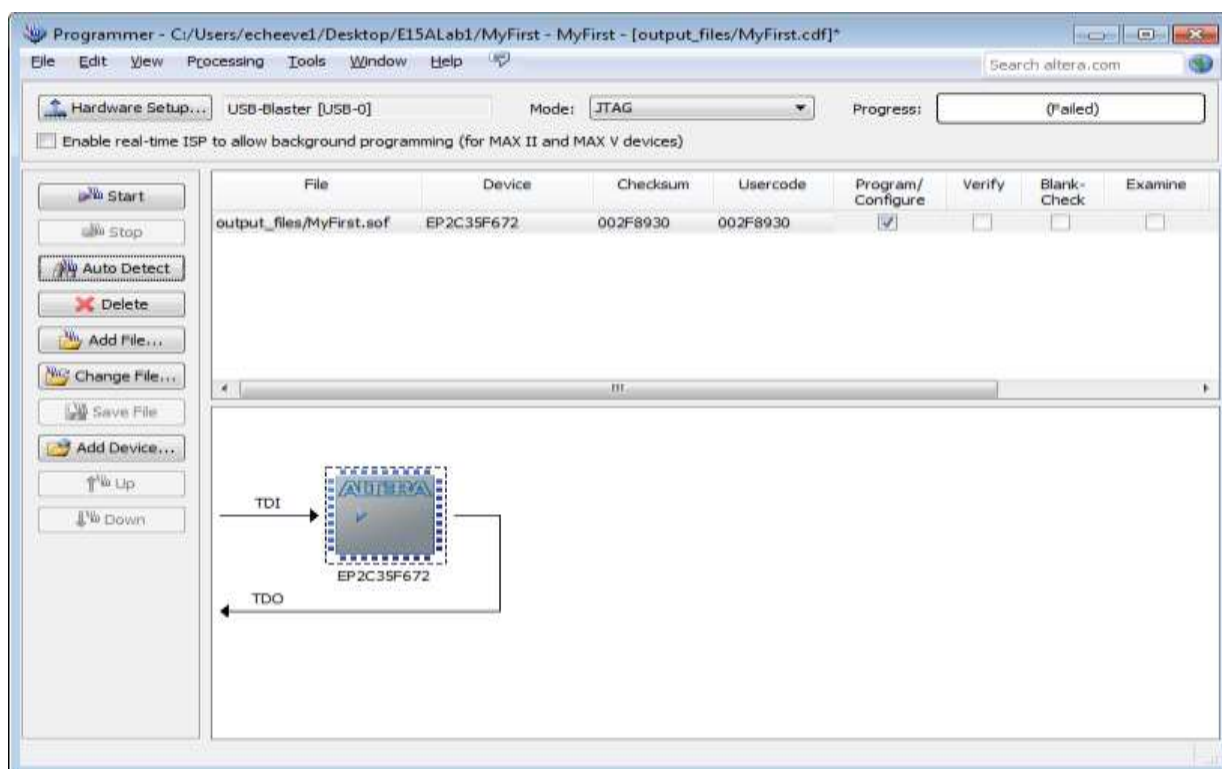


Рис. 2.7. Утиліта Programmer

Перед початком програмування необхідно вибрати спосіб із запропонованих, натиснувши кнопку Hardware Setup. Інтел пропонує різні інструменти для програмування: через USB-порт (USB-Blaster) і через порт Ethernet (Ethernet Blaster). Підтримуваний раніше програматор через LPT-порт (ByteBlaster) зараз знятий з виробництва. Перед стартом запису слід не забути включити опцію Program / Configure, поставивши галочку у відповідній колонці [10].

2.5. Мова опису апаратури схем VHDL

Коротко про VHDL. Традиційно одним з етапів проектування засобів обчислювальної техніки є розробка електричних схем. Ця відповідальна робота пов'язана з великими затратами, контролем правильності і відповідності задуманому проекту, необхідністю чіткого і ємного опису створених схем, труднощами з їх супроводом і модернізацією. САПР обчислювальної техніки, як правило, мають засоби введення і редагування схем. Однак два десятиліття тому при розробці СБІС відмовилися від схемного проектування.

Мова Very high speed integrated circuits Hardware Description Language (VHDL) була розроблена в 1983 році на замовлення Міністерства оборони США з метою формального опису логічних схем для всіх етапів розробки електронних систем, починаючи модулями мікросхем і закінчуючи великими обчислювальними системами. Він є стандартною мовою з 1987 р. Стандартом 1993 р закріплені багато його удосконалень. Поряд з мовою Verilog вона є базовою мовою при розробці апаратури сучасних обчислювальних систем.

Проектування великих обчислювальних пристроїв (ОП). За допомогою VHDL простіше і швидше ввести і перевірити великий проект. Десятьма рядками VHDL можна описати як 1, так і 100000 тригерів. Мікросхему з інтеграцією більш 10000 вентилів розробити тільки за допомогою електричних схем дуже важко через громіздкість схем.

Проект на VHDL — об'єднання структури ОП і алгоритму його функціонування. Для ОП, описаного на VHDL, необов'язково виконувати перевірку правильності його функціонування, наприклад, шляхом його макетування. Щоб визначити, чи правильно ОП виконує заданий алгоритм, достатньо запустити його VHDL-програму на виконання в симуляторі VHDL. Відповідні САПР перетворюють VHDL-опис в комплект документації для виготовлення працездатного пристрою.

Проект на VHDL — самодокументований, тобто він не вимагає додаткового технічного опису або схем. Нечіткість і недбалість опису виключаються, так як проект на VHDL нескладно перевірити.

Висока надійність проекту. Синтаксичний аналіз, моделювання і компіляція в логічну схему швидко виявляють помилки проекту.

Проект на VHDL — універсальний проект. Розроблений одного разу обчислювальний блок може бути використаний у багатьох інших проектах. При цьому багато структурних і функціональних параметрів блоку можуть бути налаштованим (параметри розрядності, обсягу пам'яті, елементна база, склад блоку).

Проект на VHDL — портативний проект. Розроблений для однієї елементної бази, проект ОП без складнощів переноситься на іншу елементну базу.

Проект на VHDL — довгоживучий проект. Електрична схема завжди розробляється під конкретні елементну базу і інтерфейс. Так як елементна база змінюється за період 2-5 років, за цей же період старішають і електричні схеми, що її використовують. Проект ОП на VHDL може бути повторно використаний через кілька років. Гарне технічне рішення, описане на VHDL, може бути актуальним протягом десятиліть.

VHDL — універсальний засіб опису ОП на рівнях:

- алгоритмічному;
- структурному;

- реєстрових передач (RTL) і потоків даних (dataflow);
- логічному;
- аналогових схем.

Проектування з використанням VHDL виконується в певному порядку. Спочатку ОП описується в вигляді своєї поведінкової моделі, на якій відпрацьовується задуманий алгоритм функціонування ОП. Потім ця модель вручну переробляється в синтизуючу модель ОП, описану на рівні реєстрових передач. Така модель, будучи странсльованою компілятором-синтезатором, дає проектну документацію, як файл опису схеми ОП на рівні вентилів (EDIF - файл). При цьому автоматично виконується логічна оптимізація ОП. Одночасно цей файл автоматично перетвориться в VHDL - модель ОП на рівні вентилів.

Проект ОП у вигляді Electronic Distribution International Format (EDIF) - файлу приймається як вихідний усіма САПР виготовлення ПЛІС . Ці САПР виконують заміну вентилів на бібліотечні компоненти, їх розміщення на площі кристала, трасування міжз'єднань, проектування масок, перевірку відповідності проектним нормам і т.п. В результаті записуються файли проектної документації виготовлення кристала і його логічної моделі, що враховує затримки як в вентилях, так і в міжз'єднаннях. Ця модель також представляється на VHDL.

Вартість помилок при проектуванні СБІС дуже висока, особливо на ранніх етапах. Тому всі етапи проектування - алгоритмічний, структурний, логічний, технологічний - супроводжуються моделюванням ОП за допомогою, так званого випробувального стенду (testbench). Цей стенд являє собою VHDL-модель, складовими частинами якої є модель тестованого ОП і моделі генератора тестових сигналів і логічного аналізатора, що перевіряють правильність функціонування ОП. Причому на всіх етапах може використовуватися один і той же випробувальний стенд і ті ж тестові файли.

Найважливішими якостями VHDL в САПР виступають наступні:

- Гнучкість. Проект, описаний на VHDL, може бути легко налаштований під конкретні завдання споживача.
- Універсальна мова. VHDL - загальноприйнята мова для всіх основних фірм - виробників мікросхем ПЛІС, ПЛМ, замовлених СБІС, як стандартна мова для складних проектів.
- Моделювання з урахуванням затримок. Фірми - виробники мікросхем в своїх САПР забезпечують генерацію моделей результатів розміщення та трасування, описаних на VHDL.
- Стандартне підключення блоків. Конструкції мови, такі як entity, port map, configuration, забезпечують надійну і швидке з'єднання блоків, розроблених різними фірмами і розробниками, в різному поєднанні.
- Стандартне тестування. На всіх етапах розробки виконується тестування за однією методикою одними і тими ж тестами [10].

Висновки:

1. Для рентгенотелевізійних систем контролю якості виробів характерний високий рівень шуму, обумовлений флуктуаціями рентгенівських квантів на вході детектора рентгенівського випромінювання. Цей шум суттєво обмежує чутливість рентгенівського контролю, тому для підвищення чутливості контролю необхідна статистична обробка рентгенотелевізійного зображення.
2. Проведений аналіз дозволив визначити вимоги до елементної бази відеопроцесора і реалізувати статистичну обробку тіньового рентгенівського зображення на апаратному рівні. Для вирішення завдання була вибрана ПЛІС INTEL MAX V , яка має достатньо ресурсів та високу швидкодію, що забезпечує статистичну обробку тіньового рентгенівського зображення в реальному масштабі часу.

3. Вибрана елементна база дозволила реалізувати можливість контролювати процес статистичної обробки та алгоритм автоматичного вибору тривалості експозиції, що в свою чергу забезпечило отримання цифрових рентгенограм з нормованим ступенем почорніння.
4. Розроблені алгоритми цифрового сигнального процесора дозволяють виконати статистичну обробку рентгенотелевізійного зображення на апаратному рівні в реальному масштабі часу, що забезпечує підвищення продуктивності та чутливості контролю якості виробів.

3. ЦИФРОВИЙ СИГНАЛЬНИЙ ПРОЦЕСОР НА ПРОГРАМОВАНІЙ ЛОГІЧНІЙ ІНТЕГРАЛЬНІЙ СХЕМІ

3.1. Структурна схема відеопроцесора.

На рис.3.1 представлена структурна схема відеопроцесора. Вона включає систему синхронізації, аналоговий процесор вхідного сигналу (АСП), цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), цифровий сигнальний процесор (ЦСП), формувач вихідного композитного телевізійного сигналу (ФТС), а також мікропроцесорну систему управління. Мікропроцесорна система управління реалізує основні режими роботи пристрою, а також вирішує задачі, пов'язані з нормуванням вхідного телевізійного сигналу і визначенням оптимальної тривалості накопичення. Вхідний композитний телевізійний відеосигнал поступає на вхід селектора, який виділяє з нього кадрові (КСІ) і рядкові (РСІ) синхроімпульси. Виділені з вхідного сигналу синхроімпульси використовуються для синхронізації роботи

синхрогенератора, що формує всі необхідні для роботи пристрою синхронізуючі сигнали.

Аналоговий сигнальний процесор вирішує задачу оптимального узгодження рівня вхідного відеосигналу з динамічним діапазоном 12-ти розрядного аналого-цифрового перетворювача.

Він включає відео підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення, схему фіксації рівня сигналу на вході АЦП і регістри, які пов'язані з контролером через стандартний послідовний інтерфейс (SPI). Контролер визначає параметри відеосигналу, що поступає на вхід ЦСП, порівнює їх з граничними значеннями динамічного діапазону АЦП, визначає необхідне значення коефіцієнта підсилення і рівня чорного сигналу та завантажує ці параметри в керівні регістри АСП. При цьому вхідний відеосигнал автоматично вписується в динамічний діапазон АЦП, що і забезпечує його оптимальне перетворення в цифрову форму. Цифровий сигнальний процесор (ЦСП) включає арифметичний логічний пристрій (АЛП), контролер ОЗП і 2-х банковий запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), в якому власне і здійснюється запис рентгенотелевізійного зображення.

АЛП і контролер ОЗП виконані на основі програмованих логічних матриць, що забезпечило можливість реалізації алгоритму цифрової обробки телевізійного відеосигналу у реальному часі. Алгоритм інтеграції рентгенотелевізійного зображення здійснюється шляхом накопичення кадрів рентгенотелевізійного зображення в ОЗП. Процес накопичення контролюється мікропроцесорною системою управління. Досягши певного рівня накопиченого в ОЗП відео сигналу контроллер автоматично зупиняє процес накопичення і переводить контроллер ОЗП в режим читання. При цьому на екрані дисплея відображається кількість накопичених кадрів в процесі інтеграції рентгенотелевізійного зображення.

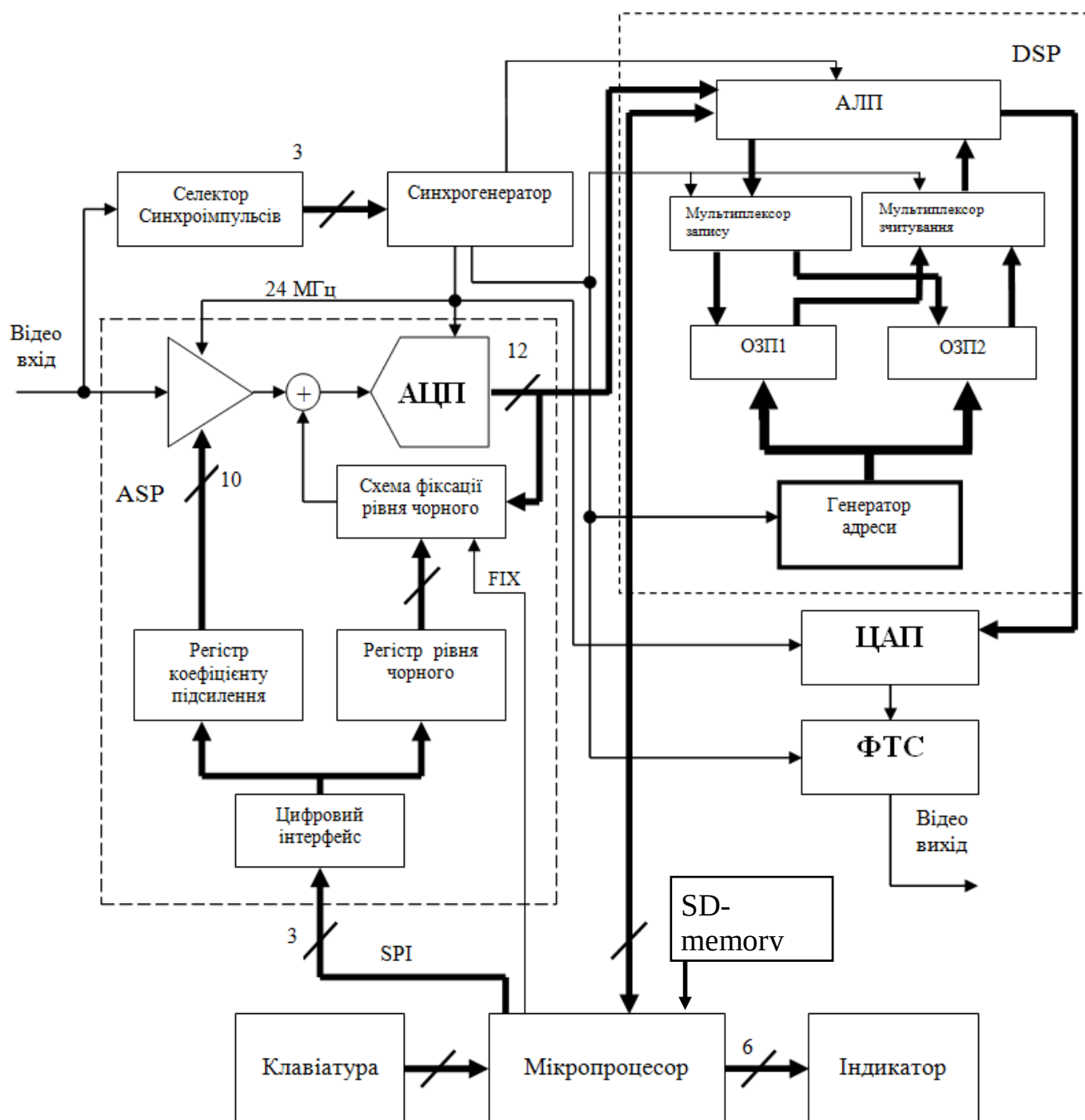


Рис. 3.1. Структурна схема пристрою для апаратної фільтрації рентгенівських шумів

АЛП і контролер ОЗП виконані на основі програмованих логічних матриць, що забезпечило можливість реалізації алгоритму цифрової обробки телевізійного відеосигналу у реальному часі. Алгоритм інтеграції рентгенотелевізійного зображення здійснюється шляхом накопичення кадрів рентгенотелевізійного зображення в ОЗП. Процес накопичення контролюється мікропроцесорною системою управління. Досягши певного рівня накопиченого в ОЗП відео сигналу контроллер автоматично зупиняє процес накопичення і переводить контроллер ОЗП в режим читання. При цьому на екрані дисплея відображається кількість накопичених кадрів в процесі інтеграції рентгенотелевізійного зображення.

Цифровий сигнальний процесор (ЦСП) включає арифметичний логічний пристрій (АЛП), контролер ОЗП і 2-х банковий запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), в якому власне і здійснюється запис рентгенотелевізійного зображення. АЛП і контролер ОЗП виконані на основі програмованих логічних матриць, що забезпечило можливість реалізації алгоритму цифрової обробки телевізійного відеосигналу у реальному часі. Алгоритм інтеграції рентгенотелевізійного зображення здійснюється шляхом накопичення кадрів рентгенотелевізійного зображення в ОЗП. Процес накопичення контролюється мікропроцесорною системою управління. Досягши певного рівня накопиченого в ОЗП відео сигналу контроллер автоматично зупиняє процес накопичення і переводить контроллер ОЗП в режим читання. При цьому на екрані дисплея відображається кількість накопичених кадрів в процесі інтеграції рентгенотелевізійного зображення. У режимі читання відеодані з ОЗУ прямують на 10-ти розрядний цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП). Формувач замішує у відеосигнал гасячі і синхронізуючі імпульси, формуючи, таким чином, вихідний композитний телевізійний відеосигнал обробленого рентгенотелевізійного зображення. Оброблене рентгенотелевізійне зображення зберігається в ОЗП до початку наступного циклу накопичення, який ініціалізується натисненням відповідної кнопки управління.

2.2. Структурна схема цифрового сигнального процесора

Алгоритм статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення реалізує цифровий сигнальний процесор, який включає в себе: арифметичний логічний пристрій (АЛП), контролер ОЗП і 2-х банковий запам'ятовуючий оперативний пристрій (ОЗП), в якому власне і

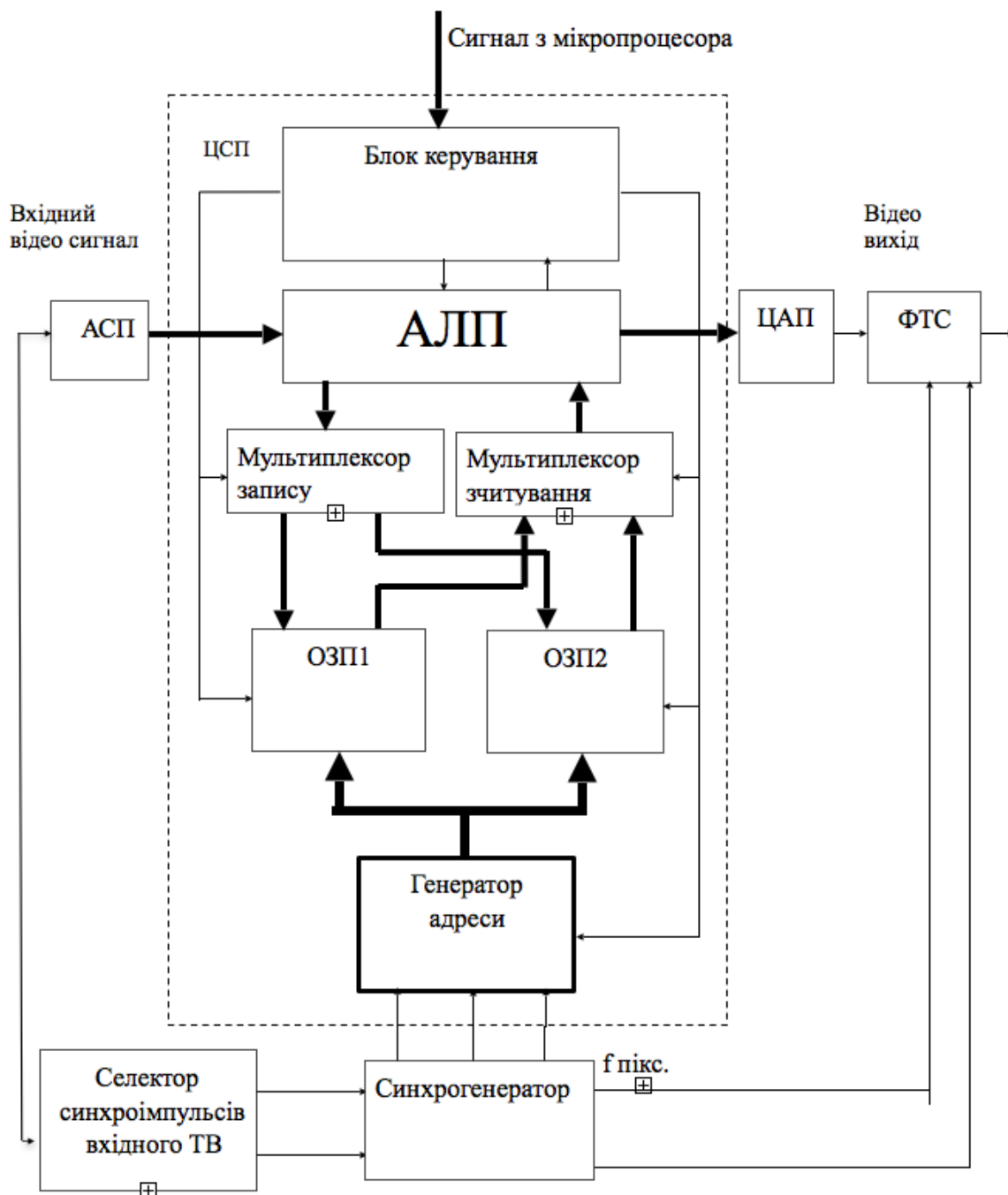


Рис 3.2. Структурна схема ЦСП.

здійснюється цифрове накопичення рентгенотелевізійного зображення. На Рис.3.2 зображено структурну схему цифрового сигнального процесора.

Алгоритм статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення здійснюється шляхом накопичення кадрів рентгенотелевізійного зображення в ОЗП. Для того, щоб ми могли контролювати кількість накопичених кадрів, використовується детектор. При досягненні певного рівня накопиченого в ОЗП відеосигналу контролер автоматично зупиняє процес інтегрування і переводить контролер ОЗП в режим читання.

3.3. Блок синхронізації.

Блок синхронізації призначений для виділення синхроімпульсів з вхідного композитного відеосигналу, власних синхроімпульсів та імпульсів гасіння з телевізійним форматом розкладання, а також для формування тактових частот для АСП, ЦСП і ЦАП. Структурна схема блоку синхронізації представлена на рис. 3.3.

Композитний телевізійний відеосигнал з виходу рентгенотелевізійної камери поступає на вхід аналогового селектора синхроімпульсів. Аналоговий селектор синхроімпульсів дозволяє виділити з вхідного відеосигналу рядкові синхроімпульси – h_video, кадрові синхроімпульси v_video, а також суміш рядкових і кадрових синхроімпульсів – c_video.

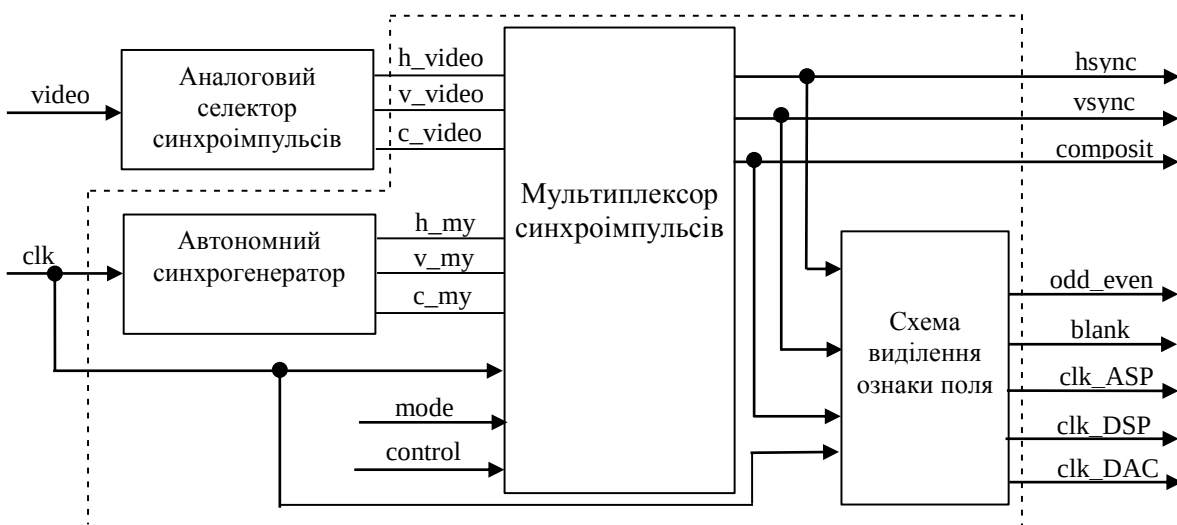


Рис. 3.3. Функціональна схема блоку синхронізації

Виділені синхроімпульси поступають на перший вхід мультиплексора синхроімпульсів. На другий вхід мультиплексора синхроімпульсів поступають синхроімпульси з виходу автономного синхрогенератора. Він призначений для формування власних високостабільних рядкових і кадрових синхроімпульсів, а також їх суміші. Синхроімпульси формуються з тактової частоти clk , яка поступає від зовнішнього високостабільного кварцевого генератора. Мультиплексор синхроімпульсів призначений для перемикавання джерела синхроімпульсів в залежності від режиму роботи. Для вибору режиму роботи використовується вхід `mode`. У разі логічного нуля на цьому вході, пристрій переходить в режим прямого каналу і джерелом синхроімпульсів стає аналоговий селектор синхроімпульсів. При логічній одиниці на вході `mode` вибирається режим інтеграції перешкод (режим накопичення). Що буде джерелом синхроімпульсів залежить від стану входу `control`. Коли на цьому вході логічний нуль, це означає, що пристрій переходить в стадію накопичення сигналу і джерелом синхроімпульсів служить аналоговий селектор синхроімпульсів. Коли в оперативній пам'яті пристрою накопичиться достатня кількість кадрів, на цьому вході встановиться логічна одиниця. При цьому джерелом синхроімпульсів стане автономний синхрогенератор і пристрій перейде в режим відтворення накопиченого зображення. Вхід `mode` керується блоком управління, а вхід `control` – цифровим сигнальним процесором ЦСП. Додатково мультиплексор синхроімпульсів проводить фільтрацію синхроімпульсів з аналогового селектора синхроімпульсів для захисту від зовнішніх імпульсних перешкод, для цього в нього заведена тактова частота clk . Синхроімпульси з виходу мультиплексора синхроімпульсів поступають в інші блоки пристрою. Також ці синхроімпульси поступають в схему виділення ознаки поля. Ця схема дозволяє визначити яке поле в даний момент часу присутній на вході пристрою. Схема формує ознаку поля `odd_even` на основі аналізу вхідних синхроімпульсів. Логічний нуль на виході `odd_even` відповідає непарному полю кадру, логічна одиниця – парному. Додатково цей блок формує

імпульс гасіння blank, тактові частоти clk_ASP для тактування аналогового сигнального процесора (АСП) і clk_DSP для тактування цифрового сигнального процесора (ЦСП), а також цифро-аналогового перетворювача clk_DAC. Для формування вихідних тактових частот в цей блок заведена тактова частота clk.

3.4. Цифровий сигнальний процесор.

На Рис. 3.4 представлена функціональна схема цифрового сигнального процесора ЦСП. Функціонально ЦСП розділений дві частини: арифметико-логічний пристрій і контролер ОЗП. Арифметико-логічний пристрій складається з суматора, детектора і мультиплексора вихідних даних. Контролер ОЗП складається з мультиплексора даних SRAM, двох банків оперативної пам'яті SRAM1 і SRAM2, генератора адреси. Працює ЦСП таким чином: по сигналу скидання reset, який поступає з блоку управління детектор і генератор адреси переводяться в початковий стан. При цьому вихід control скидається в нуль, а на шині адреси встановлюється початкова адреса 000h. Також блок управління проводить ініціалізацію детектора робочими параметрами за допомогою двохпроводного інтерфейсу data_det і clk_det. Дані з АСП ADC_dat[11..0] прямують на вхід суматора і мультиплексора вихідних даних. На другий вхід суматора і мультиплексора вихідних даних приходять дані з оперативної пам'яті пристрою. Мультиплексор вихідних даних дозволяє вибрати джерело даних ЦАП і детектора, а також інвертувати вихідні дані за допомогою входу inv. При логічному нулі на вході mode встановлюється режим прямого каналу і на ЦАП виводяться старші 10 біт ADC_data[]. При логічній одиниці на цьому вході джерелом даних стає оперативна пам'ять пристрою. Детектор призначений для виконання аналізу яскравості кадру зображення. В межах кадру він аналізує пікселі зображення, порівнюючи їх з параметрами, заданими при початковій ініціалізації.

У випадку, коли в кадрі буде виявлена певна кількість пікселів із заданими параметрами, детектор зафіксує це шляхом установки виходу control в логічну одиницю.

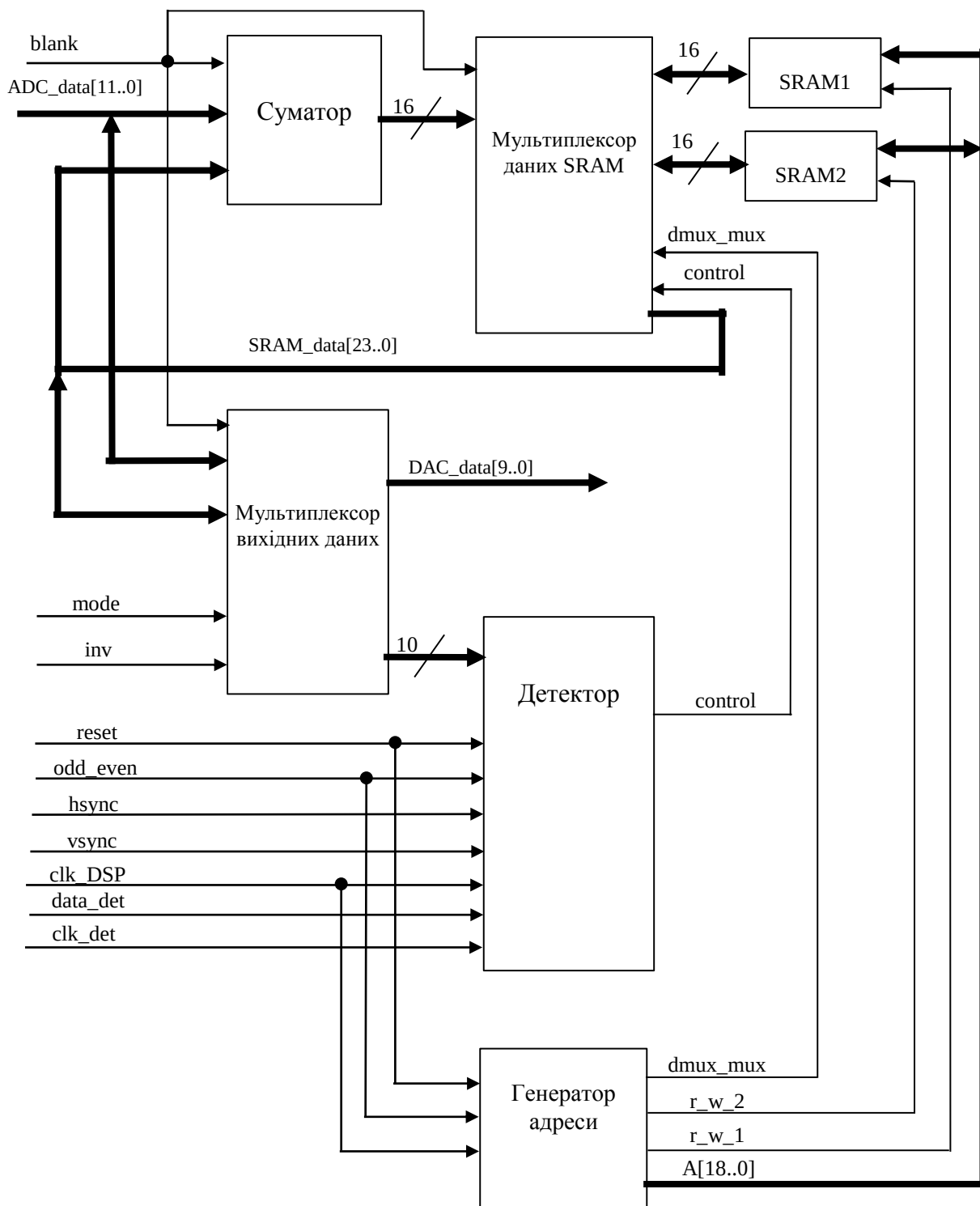


Рис.3.4. Функціональна схема цифрового сигнального процесора ЦСП

У режимі прямого каналу детектор використовується для визначення оптимального коефіцієнта підсилення відеопідсилювача аналогового

сигнального процесора. У разі логічної одиниці на вході mode пристрій переходить в режим інтеграції перешкод (режим накопичення). Логіка роботи пристрою в цьому режимі наступна. Відбувається початкове скидання генератора адреси і детектора, а також ініціалізація останнього. Після цього з непарним полем нового кадру починається накопичення зображення в пам'яті. При цьому дані з АЦП за допомогою суматора складаються з даними з оперативної пам'яті і знову записуються в оперативну пам'ять. Для забезпечення такого процесу служить мультиплексор даних SRAM. Вхід `dmux_mux` визначає, який з двох банків буде вибраний для запису в даний момент часу, а який для читання. В процесі накопичення стан цього входу міняється на протилежне по кожному задньому фронту імпульса `odd_even`. При накопиченні зображення функції генератора адреси наступні: він формує 19-розрядну адресу для обох банків оперативної пам'яті, а також управляє станом висновків `dmux_mux`, `r_w_1` і `r_w_2`. Виходи `r_w_1` і `r_w_2` визначають режим читання/запису для кожного з банків пам'яті. Також, як і для висновку `dmux`, їх стан завжди протилежно і міняється по кожному задньому фронту імпульса `odd_even`. Скидання генератора адреси відбувається на початку кожного непарного поля зображення. В процесі накопичення детектор аналізує кожен кадр зображення, записаний в один з банків оперативної пам'яті. У разі, коли рівень сигналу досягне певної величини, детектор зафіксує це шляхом установки виходу `control` в логічну одиницю. При цьому забороняється перемикання банків оперативної пам'яті і джерелом синхроімпульсів стає внутрішній генератор синхроімпульсів. Пристрій переходить в режим відображення накопиченого зображення. У обох режимах роботи сигнал `blank` дозволяє провести гасіння сигналу на час зворотного ходу променя.

3.5. Розробка цифрового сигнального процесора в середовищі проектування Quartus Prime

Середовище опису і моделювання Quartus Prime дозволяє створити текстовий опис цифрової комбінаційної або регістрової схеми, провести її компіляцію і моделювання. Моделювання роботи пристрою на етапі розробки дозволяє виявити помилки в описі, усунути їх і досить швидко довести пристрій до робочого стану. Середовище Quartus Prime компілює текстовий опис схеми що проектується в об'єктний код, придатний для занесення в конфігураційну незалежну пам'ять мікросхем сімейства Cyclone, MAX. Проект в середовищі Quartus Prime представляє з себе набір файлів HDL-опису окремих блоків (файли з розширенням tdf або vhd). Кожний з таких файлів представляє з себе повністю закінчений вузол пристрою, що виконує певні функції, наприклад суматор, мультиплексор і т.д.. Об'єднання файлів в ієрархію здійснюється за допомогою окремого текстового файлу де за допомогою директив `include` всі блоки пристрою можуть бути об'єднані в один проект. Простішим і наочнішим способом об'єднання блоків є створення графічного еквівалента кожного з них з подальшим об'єднанням всіх блоків в графічному файлі з розширенням gdf. Наприклад, за допомогою директиви `create default symbol` графічний еквівалент суматора, описаного вище виглядатиме так, як на Рис. 2.5.

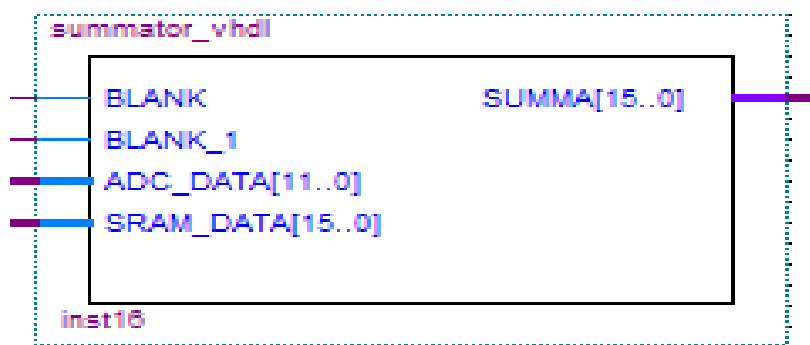


Рис. 3.5. Графічний еквівалент суматора

Після того, як будуть створені графічні еквіваленти всіх блоків їх можна об'єднати в один графічний файл. На Рис. 3.6 показана частина графічного файлу проекту – детектор контролер статичної оперативної пам'яті.

Наступним етапом створення проекту є вибір мікросхеми в яку даний проект може бути занесений, а також розподіл вхідних і вихідних контактів. Так призначення мікросхеми здійснюється за допомогою директив Assign/Device, а розподіл вхідних і вихідних контактів за допомогою редактора розміщення Floorplan Editor. Після цього проект готовий до компіляції. У разі успішної компіляції об'єктний код може бути занесений вбудовану конфігураційну або зовнішню завантажувальну пам'ять вибраної мікросхеми за допомогою програматора Altera Byte Blaster.

Дослідження можливостей середовища проектування Quartus Prime показали високу її ефективність по розробці і моделюванню складних цифрових схем. Це дозволило зменшити загальні витрати часу на розробку всього пристрою і створити дослі́дний зразок пристрою, що реалізовує алгоритм фільтрації рентгенівських шумів методом накопичення дискретних відліків в оперативній пам'яті [11].

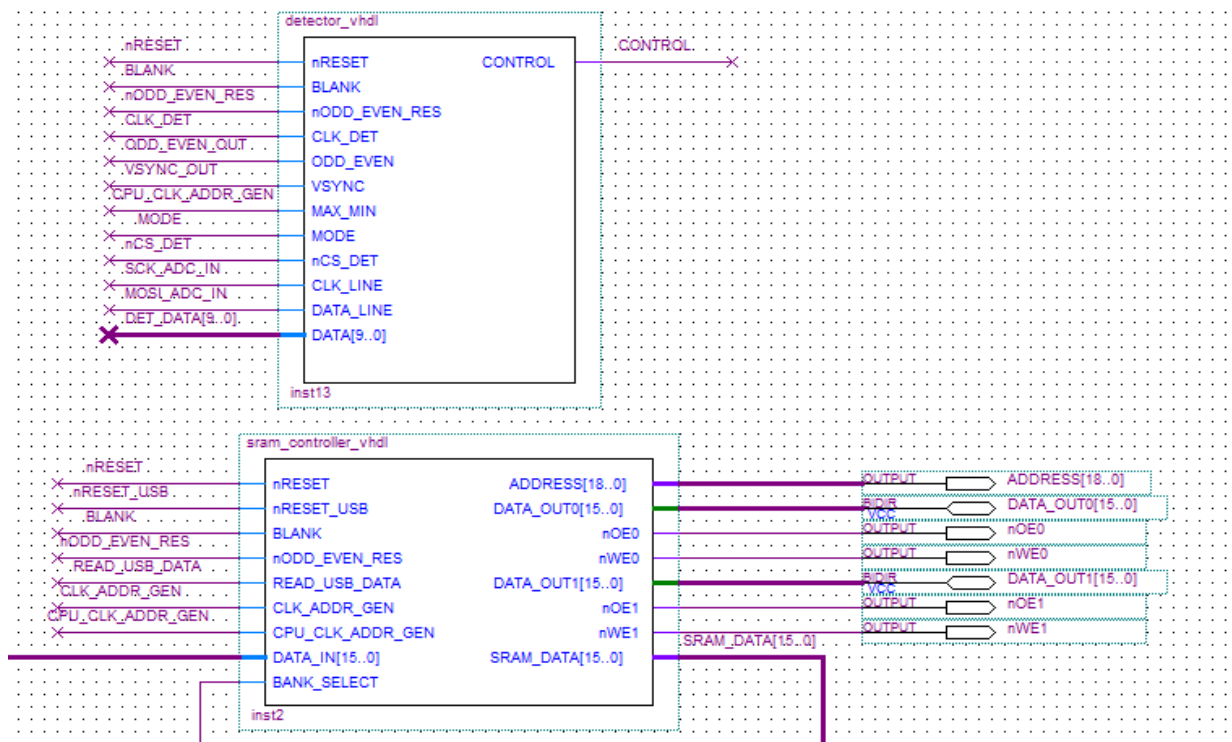


Рис. 3.6. Приклад графічного файлу в системі проектування Quartus Prime

На плакаті 3 зображено блок синхронізації та ЦСП, що графічно створено в середовищі Quartus Prime.

3.7. Опис цифрового сигнального процесора на мові програмування VHDL

Типова програма на мові VHDL містить дві секції передпроектну секцію (Subdesign Section), що описує інтерфейс проекту, і логічну секцію (Logic Section), що описує структуру і функціонування схеми, складовій власне проект. Окрім обов'язкових секцій в початок програми допускається поміщати необов'язкову секцію заголовка (Title Section).

Як приклад комбінаційної схеми можна представити опис одного з блоків апаратної частини пристрою – суматора цифрового сигнального процесора. У його функції входить обчислення суми 12-розрядних даних з АЦП і 16-розрядних даних з SRAM з отриманням 16-розрядного результату. До додаткових функцій відноситься гасіння вихідних даних на час дії гасячих імпульсів і контроль переповнення суми. Текст програми приведений в додатку 1.

В секції оголошення констант визначені три константи: розрядність даних SRAM – n , розрядність даних з АЦП – n_adc і максимально допустиме значення вихідних даних max_out . У секції SUBDESIGN визначене назва файлу, а також його входи і виходи. У секції VARIABLE визначені проміжні змінні, а саме змінна $prom_sum[(n+1)..0]$ з розрядністю на 1 більше, ніж розрядність даних з SRAM. В основній секції програми після слова BEGIN проводиться обчислення суми вхідних даних і кон'юнкція отриманого результату з сигналом гасіння $blank$. Далі проводиться контроль переповнювання суми. У разі переповнення (старший розряд проміжної суми рівний логічною 1) вихідному коду $summa[n..0]$ привласнюється значення max_out , якщо переповнювання немає, то в цьому випадку

`summa[n..0]=prom_sum[n..0]&blank.` Все це виконується за допомогою оператора `if then`:

```
if prom_sum[n+1]==vcc then summa[]=max_out;
else summa[]=prom_sum[n..0]&blank;
end if;
```

Таким чином замість громіздкої схеми виходить компактний опис вельми функціональної схеми. Так само описані всі блоки апаратної частини пристрою. Опис регістрових схем і схем з лічильниками проводиться аналогічно. Для опису, наприклад, регістра в секції `VARIABLE` досить записати таку строчку: `reg[n..0]:dff`. Змінна `reg[n..0]` буде сприйматися системою проектування як набір з `n` тригерів D-типу. Можливо опис також інших тригерів: клямка (`lath`), JK-тригер (`jkff`), R-тригер (`rff`), S-тригер (`sff`), RS-тригер (`rsff`). Кожний з типів тригерів має певний набір входів і виходів. Так для D-тригера визначені вхід даних `d`, вхід того, що тактує `clk` і вихід `q`. Якщо описати тригер у такому вигляді `dffe`, то додатково з'являється вхід дозволу проходження тактового сигналу `e`. Якщо в секції опису програми записати `reg[].d=reg[].q+k` то регістр перетворюється на лічильник, який по кожному фронту сигналу `clk` збільшуватиме свої свідчення на `до, де до` – будь-яке ціле число. За допомогою оператора `if then` можливо створення лічильника з довільним коефіцієнтом перерахунку.

Таким чином використання HDL-опису функціональних блоків пристрою дозволяє створювати складні цифрові пристрої з компактним текстовим описом. Для опису і моделювання всіх блоків апаратної частини пристрою використовувалося середовище проектування Quartus Prime [11].

3.9. Схема відеопроцесора електрична принципова

На плакаті 4 зображена схема електрична принципова. Перелік елементів наведений в додатку 2 .

Цифровий сигнальний процесор представлений мікросхемою 5M1270Z (DD5). Це ПЛІС Altera MAX V , в якій за допомогою мови програмування VHDL реалізовано АЛП, контролер ОЗП, мультиплексор вихідних даних, подільники частоти, ТВ-синхронізатори та ін. Виводи цієї ПЛІС використовуються так: виводи 1-5, 94, 95, 112 не використовуються; виводи з 6-8, 11-16, 20-24, 27-32, 37-45, 48-53, 55, 57-63, 66-76 використовуються для з'єднання ПЛІС з оперативною пам'яттю ISSI K6R4008V1D-44 (4 шт - DD1, DD3, DD9, DD10); виводи 77-81, 84-89, 91, 93, 110, 111 використовуються для з'єднання ПЛІС з мікроконтролером STM 32(DD6); на вивід 96 подається частота 120 МГц з кварцевого генератора (ZQ1); виводи 97, 98, 101-109 підключено до цифро-аналогового перетворювача DAC900. з вивода 109 подається тактова частота clk_DAC для тактування ЦАП; з вивода 113 подається суміш кадрових і рядкових синхроімпульсів composіт на буферний підсилювач, який побудований по двохкаскадній схемі емітерного повторювача з однострижковим ключовим елементом і призначений для замішування синхроімпульсів; виводи 114, 117-119 з'єднані з мікросхемою 74НС14А (DA1), яка призначена для дворівневого перетворення аналогових сигналів в цифрові; виводи 123-125, 127, 129-134, 137-139, 124-144 під'єднано до АЦП AD9821 (DA3) фірми ANALOG DEVICES. З цього АЦП на ЦСП приходить цифровий відеосигнал; виводи 140-141 з'єднано з цифро-аналоговим перетворювачем tlv5624(DD2).

Селектором відео імпульсів є мікросхема LM1881N (DA5). Синхрогенератором є кварцевий генератор з частотою 120 МГц (ZQ1) . Конденсатори C5-C9, C11, C13, C16, C18-C20, C22-C25, C31- C43, C45-C82 та індуктивності L1, L3, L5, L6, L8, L9, L10 являють собою фільтри по живленню, які призначені для фільтрації комутаційних завад. Індуктивності L2, L4, L7, L11, L12 є сигнальними фільтрами.

Висновки:

1. Була розроблена структурна схема відеопроцесора, а також функціональна та структурна схеми цифрового сигнального процесора та блоку синхронізації.
2. Програмне забезпечення цифрового сигнального процесора виконано на мові текстового опису апаратури VHDL, весь проект ЦСП та блоку синхронізації створений в середовищі розробки Quartus Prime фірми INTEL, яке дозволяє моделювати роботу всього проекту або окремих його блоків з графічним представленням результатів моделювання (часові діаграми).
3. Була розроблена схема електрична принципова відеопроцесора з використанням сучасного комп'ютерного забезпечення Altium Designer.

4. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ВІДЕОПРОЦЕСОРА**4.1. Технічні характеристики відеопроцесора**

Вхідні ланцюги відеопроцесора розраховані на підключення стандартного композитного телевізійного сигналу рентгенотелевізійної установки, що працює при черезрядкових параметрах розкладання телевізійного зображення на 625 рядків, 50 полів в секунду. На виході відеопроцесора формується такий же композитний телевізійний відеосигнал, як і на вході, що забезпечує можливість виведення обробленого телевізійного відеосигналу на штатний телевізійний монітор рентгенотелевізійної дефектоскопічної установки. Відеопроцесор реалізує в цифровому вигляді алгоритм інтегрування рентгенотелевізійного зображення шляхом накопичення певної кількості кадрів рентгенотелевізійного сигналу протягом регульованого часу експозиції в залежності від потужності рентгенівського випромінювання і товщини

контрольованого виробу. Для забезпечення обробки зображення в реальному масштабі часу, відеопроцесор реалізований на основі швидкодіючих аналогових і цифрових інтегральних схем.

Таблиця.4.1. Основні технічні характеристики відеопроцесора

Амплітуда вхідного композитного телевізійного відеосигналу	1В
Амплітуда вихідного композитного телевізійного відеосигналу	1В
Аналого-цифрове перетворення вхідного рентгенотелевізійного сигналу	12 біт
Цифро-аналогове перетворення вихідного сигналу	10 біт
Пам'ять	2 банку 512Кх16
Формат кадру	800х600
Вхідний підсилювач відеосигналу з програмованим коефіцієнтом посилення	0-36 dB (1-64 разів)
Кількість кадрів накопичення	16-999
Інверсія рентгенотелевізійного зображення	позитив-негатив
Автоматичне нормування вхідного відеосигналу по динамічному діапазону АЦП	Присутнє
Мікропроцесорне управління режимами роботи пристрою	Присутнє

режими роботи пристрою	4 програмованих: прямий канал і 3 режими накопичення рентгенотелевізійного сигналу
нормування вихідного сигналу	автоматичне
Вбудована пам'ять	10000 рентгенограм
Можливість зв'язку з комп'ютером	USB-інтерфейс
Управління рентгенівським апаратом	присутнє
Розміри пристрою	100x170x30 мм
Живлення	5В (450мА)

4.2. Функціональні можливості

- Відеопроцесор призначений для реалізації в цифровому вигляді алгоритму інтегрування рентгенотелевізійного зображення шляхом накопичення певної кількості кадрів рентгенотелевізійного сигналу протягом регульованого часу експозиції в залежності від потужності рентгенівського випромінювання і товщини контролюваного виробу.
- Нормування рентгенотелевізійного відеосигналу, що надходить з виходу рентгенотелевізійної установки, за рівнем і амплітуді при виведенні статичного і динамічного рентгенотелевізійного зображення на екран телевізійного монітора без застосування алгоритму його інтегрування (без фільтрації шумів рентгенотелевізійного каналу).
- Безпосереднє виведення на екран відеомонітора статичного рентгенотелевізійного зображення, яке надходить із рентгенотелевізійної відеокамери із застосуванням алгоритму

інтегрування рентгенотелевізійного зображення (з фільтрацією шумів рентгенівських квантів і шумів рентгенотелевізійного каналу).

- Збереження обробленого зображення у вбудованій оперативній пам'яті і можливість передачі його для подальшої обробки та архівування в персональний комп'ютер або ноутбук за допомогою USB-порту або на SD-card.
- Збереження оброблених зображення у вбудованій енергонезалежній пам'яті (~ 10000 зображень), можливість перегляду збережених в незалежній пам'яті зображень на екрані телевізійного монітора, передача рентгенограм з незалежної пам'яті для їх подальшої обробки та архівування в персональний комп'ютер або ноутбук за допомогою USB-порту чи card-reader.

На рис. 4.1 а,б представлено зображення зварного шву до обробки (а), та після обробки відеопроцесором.

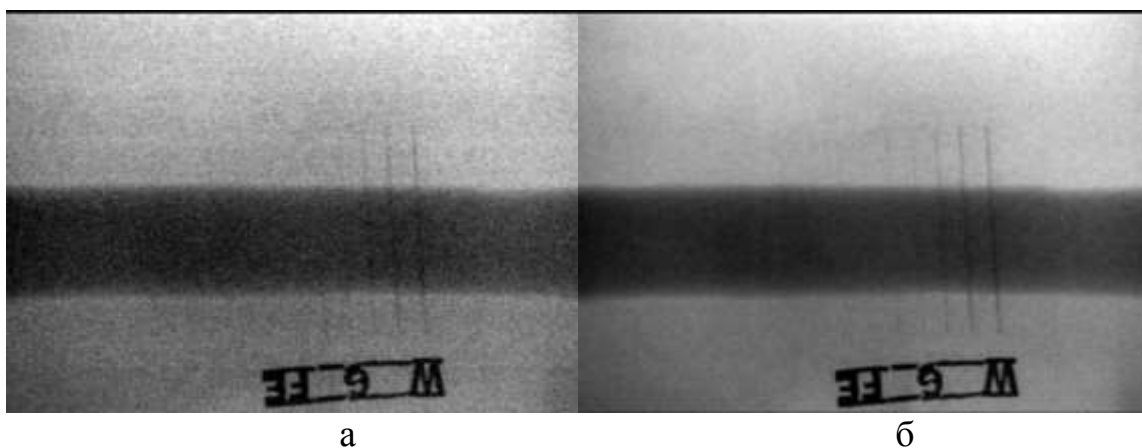


Рис. 4.1 Зображення зварного шву до обробки (а) та після обробки (б) відеопроцесором.

На фоні шва покладено канавочний дефектометр. На зображенні без обробки видно три канавки, а на обробленому зображенні видно 6 канавок. Це відповідає контрастній чутливості 2,5% та 1,6% відповідно. Якщо врахувати те, що після обробки контрастна чутливість майже наблизилась до контрастної чутливості плівки (1,2%), то можна зробити висновок, що розроблений алгоритм фільтрації рентгенівських шумів дозволяє значно підвищити

чутливість рентгенотелевізійного контролю якості виробів, і майже наблизити його до чутливості рентгенівської плівки.

4.3. Органи управління

Управління відеопроцесором здійснюється за допомогою восьми кнопок та перемикача живлення. Кожна кнопка може виконувати ряд основних і вторинних функцій. Зовнішній вигляд відеопроцесора і розташування органів управління показано на рис. 4.2.

4.2. Вхідні та вихідні роз'єми



Рис. 4.2. Вигляд відеопроцесора збоку



Рис. 4.3. Вхідний роз'єм для підключення зовнішнього блоку живлення



Рис. 4.4. Відеовхід (праворуч), відеовихід (ліворуч)



Рис. 4.5. USB-порт (ліворуч) і роз'єм підключення рентгенівського апарата (праворуч)

4.3. Ввімкнення пристрою

Для ввімкнення відеопроцесора необхідно підключити до нього зовнішнє джерело живлення + 5В з навантажувальною здатністю не менше 450-500 мА. До відеовходу необхідно підключити джерело рентгенотелевізійного сигналу, до відеовиходу необхідно підключити телевізійний монітор. Після цього перевести вимикач живлення POWER в положення включено. При цьому на передній панелі відеопроцесора загориться індикатор живлення. Відразу після ввімкнення відеопроцесор знаходиться в режимі «Робочий режим» і готовий до роботи.

УВАГА: щоб уникнути вихід відеопроцесора з ладу всі маніпуляції, пов'язані з підключенням зовнішнього джерела живлення, джерела рентгенотелевізійного сигналу і телевізійного монітора слід проводити тільки при положенні вимикача POWER в стані вимкнено. Перевищення напруги джерела живлення більш ніж на 5% може призвести до виходу відеопроцесора з ладу. Зниження напруги джерела живлення більш ніж на 10% може привести до нестабільної роботи відеопроцесора або до погіршення його параметрів.

4.4. Режими роботи відеопроцесора

Відеопроцесор може працювати режимах:

- Робочий режим;
- Режим налаштування;
- Режим роботи з SD-card.

Перемикання між режимами здійснюється за допомогою кнопки «Mode». Кожному режиму відповідає своя заставка на екрані рідкокристалічного індикатора

4.4.1. Робочий режим

У режимі «Робочий режим» відеопроцесор реалізує чотири підрежими обробки рентгенотелевізійного зображення. Перший підрежим називається «TV» або «Прямий канал». Він призначений для перегляду динамічних фрагментів рентгенотелевізійного зображення, а також використовується при позиціонуванні контрольованого виробу щодо детектора рентгенівського випромінювання. У цьому підрежимі вхідний відеосигнал автоматично нормується по амплітуді і рівню. Запуск підрежиму «Прямий канал» здійснюється шляхом натискання кнопки «TV» на передній панелі пристрою. При цьому на екрані рідкокристалічного індикатора відображається заставка підрежиму «Прямий канал», де цифра на екрані - це код, що відповідає оптимальному коефіцієнту посилення вбудованого підсилювача, при якому вхідний сигнал відеопроцесора буде оптимально вписаний в динамічний діапазон АЦП. На рис.3.12. приведена номограма для перекладу відображуваного коду в величину коефіцієнта посилення в dB, де по осі X розташовується код, а по осі Y - відповідає цьому коду коефіцієнт посилення. Також коефіцієнт посилення може бути обчислений за формулою: $\text{Gain (dB)} = 0.0351 * \text{Code}$, де Gain (dB) - коефіцієнт посилення в dB, Code - код на екрані рідкокристалічного індикатора.

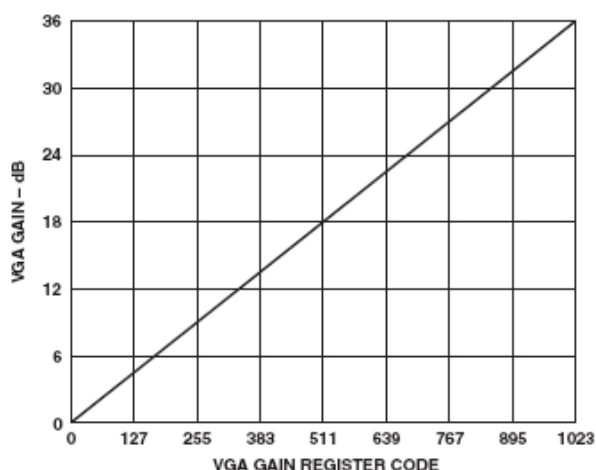


Рис. 3.12 Номограма для переведу відображеного коду у величину коефіцієнта підсилення

Другий, третій і четвертий підрежими роботи називаються «VP1», «VP2» і «VP3». У цих підрежимів відеопроцесор реалізує алгоритм цифрової

регульованою експозиції тіньового рентгенівського зображення контрольованого виробу. Ці підрежими призначені для обробки рентгенотелевізійного зображення контрольованого виробу, який знаходиться в статичному положенні. Інтеграція рентгенотелевізійного сигналу практично повністю убирає нестаціонарні шуми рентгенотелевізійного каналу і забезпечує підвищення чутливості дефектоскопічного контролю. При цьому мікропроцесорна система управління контролює процес інтеграції та автоматично визначає оптимальну для поточних умов контролю тривалість експозиції. Підрежими «VP1», «VP2» і «VP3» функціонують однаково і відрізняються друг від друга лише величинами робочих параметрів. Запуск цих підрежимів здійснюється шляхом натискання кнопок «VP1», «VP2» та «VP3» відповідно. При цьому відображається назва подрежима і кількість накопичених кадрів зображення.

4.4.2. Збереження зображень на SD-card

У підрежимах «VP1», «VP2» і «VP3» є можливість збереження обробленого зображення на SD-card, що дає можливість зберегти до 8000 зображень. Для збереження зображення необхідно натиснути кнопку «←», при цьому відеопроцесор виконає пошук першої вільної сесії і на екрані рідкокристалічного індикатора з'явиться меню налаштування сесії. Це меню дозволяє встановити номер сесії, в яку необхідно зберегти зображення і дату сесії в форматі. Переміщаючи миготливий курсор за допомогою кнопок «←» і «→» можна вибрати один з параметрів сесії для його редагування. Редагування параметрів сесії здійснюється за допомогою кнопок «100», «10» і «1», які дозволяють виконувати інкремент сотень, десятків і одиниць параметра. Для завершення установки сесії необхідно натиснути кнопку «S», при цьому зображення буде збережено в сесію з встановленими користувачем параметрами.

Відмовитися від установки сесії можливо шляхом натискання кнопки «Mode». При цьому з'явиться повідомлення, що сесія не встановлена, знімок

не буде збережено і відеопроцесор перейде в останній використаний в програмі подрежим робочого режиму.

Якщо сесія не встановлена (наприклад, перше включення пристрою, переповнення поточної сесії або відмова від збереження параметрів сесії), то при спробі збереження зображення знову з'явиться меню настройки сесії.

У разі відсутності вільних сесій буде видано попередження про переповнення пам'яті.

4.4.3. Режим налаштування

«Режим налаштування» призначений для редагування параметрів підрежимів робочого режиму. Перехід відеопроцесора в режим «Режим налаштування» здійснюється за допомогою кнопки «Mode». містить 4 підрежиму редагування параметрів. Вибір одного з підрежимів редагування здійснюється за допомогою кнопок «TV», «VP1», «VP2» і «VP3». Повернення в «Режим налаштування» з підрежимів редагування параметрів здійснюється за допомогою кнопки «Mode». Для кожного з підрежимів робочого режиму існує 3 робочих параметра: посилення, рівень, щільність. Вибір параметра для редагування здійснюється за допомогою кнопок «←» і «→». Редагування параметрів здійснюється за допомогою кнопок «100», «10» і «1», які дозволяють виконувати інкремент сотень, десятків і одиниць параметра. Збереження змін здійснюється за допомогою кнопки «S».

Параметр посилення дозволяє встановити коефіцієнт посилення вхідного відеосигналу. Для підрежимів робочого режиму «VP1», «VP2» і «VP3» цей параметр є фіксованим (встановлюється вручну) і не змінюється в процесі роботи. Для підрежиму «TV» відеопроцесор використовує цей параметр як стартовий для пошуку посилення, при якому відеосигнал оптимальним чином впишеться в динамічний діапазон АЦП. Код відповідний певному коефіцієнту посилення може бути знайдений з номограми рис. або

обчислений за формулою: $\text{Code} = \text{Gain (dB)} / 0.0351$, де Gain (dB) - коефіцієнт посилення в dB, Code - код відповідний цьому коефіцієнту посилення. Максимальне значення параметра посилення 999.

Параметр «рівень» дозволяє встановити рівень вихідного відеосигналу. Так як для цифро-аналогового перетворення в відеопроцесорі використовується ЦАП з джерелом опорного напруги 1.024 В, то величина параметра рівень приблизно відповідає напрузі вихідного відеосигналу в мВ. Максимальне значення параметра рівень 999.

Параметр щільність призначений для оцінки рівня вихідного відеосигналу відеопроцесора. Він визначає кількість точок з рівнем, який перевищив величину параметра рівень в межах одного кадру зображення. Максимальне значення параметра щільність - 999.

Висновок

1. Представлений відеопроцесор у складі радіоскопічної системи промислового призначення реалізує апаратними засобами алгоритм цифрової статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення в реальному масштабі часу шляхом інтегрування рентгенотелевізійного зображення протягом регульованого часу експозиції, що забезпечує суттєве підвищення чутливості контролю якості виробів.
2. Для зручності досліджень, пристрій реалізує чотири режими роботи – один режим прямого каналу і три режими накопичення. Для всіх режимів роботи передбачена можливість оперативного редагування параметрів і можливість їх збереження.
3. Відеопроцесор для обробки рентгенотелевізійного зображення в реальному масштабі часу легко вбудовується в рентгенотелевізійні системи, є компактним та зручним для використання в польових умовах .

ВИСНОВКИ

1. В роботі був проведений аналітичний огляд радіаційних методів неруйнівного контролю якості виробів, на основі якого були визначені задачі для реалізації спеціалізованого відеопроцесора обробки тіньового рентгенотелевізійного зображення.
2. Розроблений відеопроцесор для обробки рентгенотелевізійного зображення дозволяє провести статистичну обробку рентгенотелевізійного зображення на апаратному рівні, що підвищує чутливість контролю якості виробів за рахунок фільтрації флуктуаційних шумів, значно підвищує продуктивність контролю та якість отримуваних рентгенограм за рахунок виграшу у відношенні сигнал/шум та дозволяє отримати цифрову рентгенограму як документ контролю якості виробів. Використання в складі рентгенотелевізійних систем дозволяє суттєво підвищити чутливість рентгенотелевізійного контролю і наблизити її до чутливості радіографічного методу
3. Використання ПЛІС MAX V дозволило реалізувати алгоритм статистичної обробки рентгенотелевізійного зображення в реальному масштабі часу, оскільки має високу швидкодію та достатню кількість програмованих ресурсів. При цьому дуже важливим є можливість побудови на ПЛІС необхідної структури цифрового сигнального процесора.
4. Використання SD-card забезпечує проміжне збереження результатів контролю та зручну передачу цифрових рентгенограм для подальшої обробки та архівування.
5. Інтерфейс, що включає клавіатуру управління та рідкокристалічний дисплей, забезпечує зручність експлуатації пристрою в складі рентгенотелевізійної системи в реальних умовах проведення аналізу якості виробів

6. Відеопроцесор розрахований на стандартний композитний телевізійний вхідний сигнал і формує на виході теж стандартний телевізійний сигнал, що дозволяє досить просто модернізувати діючі рентгенотелевізійні дефектоскопічні установки з метою підвищення чутливості радіаційних методів контролю якості виробів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.В.Клюев. т.1.: Кн. 2.: Ф.Р. Соснин. Радиационный контроль. - 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2006. – 560 с.
2. О.И.Кучеренко, А.С.Подосельник, А.В.Терлецкий. Видеопроцессор для записи и обработки фрагментов рентгентелевизионных изображений // Электроника и связь. 2001. N 13. С. 40-42.
3. А.В. Терлецкий, О.И. Кучеренко, А.С. Подосельник, Н.Г. Белый. Цифровое устройство "Direcon D01" для регистрации, обработки и архивирования информации детекторов радиационного излучения. Сб."Неруйнінівний контроль та технічна діагностика. Матеріали конференції.", УТ НКТД, 2003. – с. 165-168.
4. URL: <http://izmerenie.pro/rentgenograficheskij-metod.html>
5. URL: http://www.ntcexpert.ru/documents/fuji_ix_guide.pdf
6. URL: <https://alfatest.ru/support/articles/tsifrovaya-kompyuternaya-radiografiya/>
7. <http://www.neva-roentgen.com/SOVALUX/sovalux-choice.htm>
8. URL: <http://metalloiskateli.ru/assets/files/norka.pdf>
9. URL: <https://marsohod.org/index.php/ourblog/11-blog/265-fpga>
10. Игорь Коврига. Особенности работы в среде проектирования ПЛИС Altera Quartus II – CHIP NEWS Украина №5. – 2012р

- 11.URL: <http://kanyevsky.kpi.ua/ru/учебник-vhdl/что-такое-vhdl/>
- 12.Клайв Максфилд.Проектирование на ПЛИС.Архитектура, средства и методы – 2015 – С. 21.
13. Грушвицкий Р. И., Мурсаев А. Х., Угрюмов Е. П. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.: ил.

ДОДАТОК 1

Програмний код суматора на мові програмування VHDL

```

library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.std_logic_arith.all;
use IEEE.std_logic_unsigned.all;

entity summator_vhdl is
    port (
        BLANK           : in    std_logic;
        BLANK_1         : in    std_logic;
        ADC_DATA        : in    std_logic_vector (11 downto 0);
        SRAM_DATA        : in    std_logic_vector (15 downto 0);
        SUMMA           : out    std_logic_vector (15 downto 0)
    );
end summator_vhdl ;

architecture RTL of summator_vhdl is
    signal adc_data_signal      : std_logic_vector (16 downto 0);
    signal sram_data_signal     : std_logic_vector (16 downto 0);
    signal summa_signal         : std_logic_vector (16 downto 0);

begin
    adc_data_signal (11 downto 0) <= ADC_DATA;
    adc_data_signal (16 downto 12) <= "00000";
    sram_data_signal (15 downto 0) <= SRAM_DATA;
    sram_data_signal (16) <= '0';
    --процес розрахунку суми даних з АЦП та оперативної пам'яті з доповненням розрядності
    process(BLANK, BLANK_1, adc_data_signal, sram_data_signal)
    begin
        if ((BLANK = '0') or (BLANK_1 = '0')) then
            summa_signal <= (others => '0');

        else
            summa_signal <= adc_data_signal + sram_data_signal;

        end if;
    end process;

    --процес керування виходом SUMMA в залежності від результату сумування
    process(summa_signal)
    begin
        if (summa_signal(16) = '1') then
            SUMMA <= (others => '1');

        else
            SUMMA <= summa_signal (15 downto 0);

        end if;
    end process;
end architecture;

```

```
end process;
end RTL;
```

ДОДАТОК 2

Програмний код контролера ОЗП на мові програмування VHDL

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.std_logic_arith.all;
use IEEE.std_logic_unsigned.all;
```

```
entity sram_controller_vhdl is
```

```
port (
```

```
    nRESET           : in    std_logic;
    nRESET_USB       : in    std_logic;
    BLANK             : in    std_logic;
    nODD_EVEN_RES     : in    std_logic;
    READ_USB_DATA     : in    std_logic;
    CLK_ADDR_GEN      : in    std_logic;
    CPU_CLK_ADDR_GEN  : in    std_logic;
    DATA_IN          : in    std_logic_vector (15 downto 0);
    BANK_SELECT       : in    std_logic;
    ADDRESS           : out   std_logic_vector (18 downto 0);
    DATA_OUT0        : inout std_logic_vector (15 downto 0);
    nOE0              : out   std_logic;
    nWE0              : out   std_logic;
    DATA_OUT1        : inout std_logic_vector (15 downto 0);
    nOE1              : out   std_logic;
    nWE1              : out   std_logic;
    SRAM_DATA         : out   std_logic_vector (15 downto 0)
);
```

```
end sram_controller_vhdl ;
```

```
architecture RTL of sram_controller_vhdl is
```

```
    signal address_cnt      : std_logic_vector (18 downto 0);
    signal address_cnt_usb  : std_logic_vector (18 downto 0);
    signal tri0_ena, tri1_ena : std_logic;
    signal tri0_in, tri1_in  : std_logic_vector (15 downto 0);
```

```
begin
```

```
tri0_ena <= not BANK_SELECT;
```

```
tri1_ena <= BANK_SELECT;
```

```
process(DATA_IN, BANK_SELECT, tri0_ena, tri1_ena, DATA_OUT0, DATA_OUT1)
```

```
begin
```

```
    case(tri0_ena)is
```

```
        when '1' => DATA_OUT0 <= DATA_IN;
```

```
        when '0' => DATA_OUT0 <= ( others => 'Z');
```

```

        when others => DATA_OUT0 <= ( others => 'X');
    end case;

    case(tri1_ena)is
        when '1' => DATA_OUT1 <= DATA_IN;
        when '0' => DATA_OUT1 <= ( others => 'Z');
        when others => DATA_OUT1 <= ( others => 'X');
    end case;
end process;

```

ДОДАТОК 3

Програмний код детектора рівня на мові програмування VHDL

```

library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.std_logic_arith.all;
use IEEE.std_logic_unsigned.all;

```

entity detector_vhdl *is*

port (

nRESET	: in	std_logic;
BLANK	: in	std_logic;
nODD_EVEN_RES	: in	std_logic;
CLK_DET	: in	std_logic;
ODD_EVEN	: in	std_logic;
VSYNC	: in	std_logic;
MAX_MIN	: in	std_logic;
MODE	: in	std_logic;
nCS_DET	: in	std_logic;
CLK_LINE	: in	std_logic;

--

System Clock

DATA_LINE	: in	std_logic;
DATA	: in	std_logic_vector (9 downto 0);
CONTROL	: out	std_logic

end detector_vhdl ;

architecture RTL *of* detector_vhdl *is*

signal shift_reg	: std_logic_vector (19 downto 0);
signal porog	: std_logic_vector (9 downto 0);
signal number	: std_logic_vector (9 downto 0);
signal pixel_number_max	: std_logic_vector (9 downto 0);
signal pixel_number_min	: std_logic_vector (9 downto 0);
signal control_signal_max	: std_logic;
signal control_signal_min	: std_logic;


```

signal  analysing_off    : std_logic;
signal  analysing_off_cnt : std_logic_vector (1 downto 0);
signal  data_signal      : std_logic_vector (9 downto 0);

```

```
begin
```

```

data_signal <= DATA;
porog (9 downto 0) <= shift_reg (9 downto 0);
number (9 downto 0) <= shift_reg (19 downto 10);

```

--Процес описання завантаження зсувних регістрів пороговим значенням і кількістю точок, що перевищили поріг

```
process(CLK_LINE, DATA_LINE, nCS_DET, shift_reg)
```

```
begin
```

```
    if(nCS_DET = '0') then
```

```
        if rising_edge(CLK_LINE) then
```

```
            --нульовому значенню присвоюємо значення DATA_LINE
```

```
            shift_reg(0) <= DATA_LINE;
```

```
            --організовуємо зсувний регістр
```

```
            for i in 19 downto 1 loop
```

```
                shift_reg(i) <= shift_reg(i-1);
```

```
            end loop;
```

```
        end if;
```

```
    end if;
```

```
end process;
```

--процес підрахунку пікселів, що перевищили поріг

```
process(nRESET, nODD_EVEN_RES, CLK_DET)
```

```
begin
```

```
    if ((nRESET = '0')or(nODD_EVEN_RES = '0')) then
```

```
        pixel_number_max <= (others => '0');
```

```
    elsif falling_edge(CLK_DET) then
```

--перевіряємо лічильник пікселів на максимум і якщо не досягнутий поріг, то порівнюємо вхідні дані з порогом в залежності від результату проводимо його інкремент

```
    if (pixel_number_max = "111111111") then pixel_number_max <= "111111111";
```

```
    elsif(data_signal > porog (9 downto 0))then pixel_number_max <= pixel_number_max + 1;
```

```
    end if;
```

```
    end if;
```

```
end process;
```

--процес керування сигналом control_signal_max

```
process(nRESET, CLK_DET, analysing_off)
```

```
begin
```

```
    if ((nRESET = '0')or(analysing_off = '0')) then
```


Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка	91			
	Мікросхеми						
DA1	74HC14A	1	SOIC-14				
DA2,DA4	REG1117	2	SOT-223				
DA3	AD9821	1	LQFP-48				
DA5	LM1881N	1	SOIC-8				
DA6	DAC900	1	SOIC-28				
DD1,DD3	K6R4008V1D-44	2	TSOP2-44				
DD9,DD1	K6R4008V1D-44	2	TSOP2-44				
DD2	TLV5624	1	SOIC-8				
DD4	LM809	1	SOT-23				
DD5	INTEL MAX V 5M1270Z	1	TQFP-144				
DD6	STM32F4050G	1	TQFP-64				
DD7	CP2101	1	LQFP-32				
DD8	ICL7660	1	SOIC-8				
	Транзистори, діоди, стабілітрони						
VT1,VT3	VT NPN BC846	2	SOT-23				
VT2	VT PNP BC856	1	SOT-23				
VT5	VT NPN BCP54	1	SOT-23				
VD2	STAB 1V	1					
VD3	STAB 6 V	1					
VD5	VD SHOTTKI	1					
VD6	STAB 4.7 V	1					
VD4,VD7	LED	2					
	Конденсатори						
C1,C2,C12	SMD 0805 33 pF	3					
C17,C27,C2	SMD 0805 33 pF	3					
C3	EL35V 470 uF	1					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Голодецький						
Перевір.	Терлецький						
Т. Контр..							
Н. Контр.	Жовнір М.Ф.						
Затверд.	Писаренко Л.Д.						
МД.171.061М.007							
Додаток3. Відеопроцесор для обробки рентгенотелевізійного зображення Перелік елементів					Літ.	Арк.	Аркушів
						1	3
					НТУУ "КПІ", ФЕЛ, ДЕ-61		

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка	92
C5-C9	SMD 0805 0.1 uF	4		
C16,C18-	SMD 0805 0.1 uF	4		
C22, C25	SMD 0805 0.1 uF	2		
C31-C33,35	SMD 0805 0.1 uF	4		
C37,C38	SMD 0805 0.1 uF	2		
C42, C45	SMD 0805 0.1 uF	2		
C49,C51,C5	SMD 0805 0.1 uF	3		
C55, C57	SMD 0805 0.1 uF	2		
C60-C66	SMD 0805 0.1 uF	7		
C70, C71	SMD 0805 0.1 uF	2		
C73-C77	SMD 0805 0.1 uF	5		
C10	SMD 1206 100 uF	1		
C15,C21,C2	EL35V 220 uF	3		
C23,C24,C	SMD 1206 1 uF	3		
C36,C39,C	SMD 1206 1 uF	3		
C43,C46,C4	SMD 1206 1 uF	3		
C50,C52,C5	SMD 1206 1 uF	3		
C56,C58,C6	SMD 1206 1 uF	3		
C69,C72,C7	SMD 1206 1 uF	3		
C81, C82	SMD 1206 1 uF	2		
C44	SMD 0805 20 pF	1		
	Резистори			
R1, R2	SMD 0805 37.5	2		
R3,R24	SMD 0805 1K	2		
R6, R22	SMD 0805 510	2		
R7,R18,R2	SMD 0805 100	3		
R8	SMD 0805 220	1		
R9	SMD 0805 6K8	1		
R10, R13	Перемички по землі	2		
R11	SMD 0805 680K	1		
R12,R30,R31, R32	SMD 0805 470	3		
R14, R15	SMD 0805 22	2		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
МД.171.061М.007				Арк.
				2

[illegible]

