

Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича

Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Кафедра електроніки і енергетики

Пристрій формування цифрового масиву відеоданих із PEM100

Дипломна робота

Рівень вищої освіти — перший (бакалавр)

Виконала:

студентка 4 курсу, групи 432

спеціальності 153 “Мікро — та
наносистемна техніка”

Осадча Аліна Олегівна

Керівник : доцент к.ф.-м.н.,

Нічий Сергій Васильович

До захисту допущено:

Протокол засідання кафедри № ____

від „____” _____ 2022р.

зав. кафедри _____ проф. Майструк Е.В.

Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича

Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Кафедра електроніки і енергетики

Пояснювальна записка
до дипломного проекту

Пристрій формування цифрового масиву відеоданих із PEM100

Виконала:

студентка 4 курсу, групи 432

спеціальності 153 “Мікро — та
наносистемна техніка”

Осадча Аліна Олегівна

Керівник : доцент к.ф.-м.н.,

Нічий Сергій Васильович

До захисту допущено:

Протокол засідання кафедри № ____

від „__” _____ 2022р.

зав. кафедри _____ проф. Майструк Е.В.

Анотація

У даній дипломній роботі розглянута тема «Пристрій формування цифрового масиву відеоданих із РЕМ100».

Робота складається з двох розділів. У першому розділі розглядається теоретична частина пов'язана з растровим електронним мікроскопом, взаємодією електронів з речовиною та формування зображення в РЕМ100.

Друга частина містить в собі інформацію про пристрій, який би формував із відеосигналу растрового електронного мікроскопу РЕМ100 оцифрований відеосигнал для отримання зображення на моніторах та подальшого його збереження на електронних носіях даних.

Містить в собі 42 сторінок , 21 рисунок , 19 джерел літератури, 2 таблиці

					<i>ДП 6.141.37.0000.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>				
<i>Розробив</i>		Осадча		Пристрій формування цифрового масиву відеоданих із РЕМ100	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірів</i>						2	
					ЧНУ 432 гр.		

Зміст

Вступ.....	4
РОЗДІЛ 1. ПРИНЦИП РОБОТИ МІКРОСКОПУ REM100.....	5
1.1 Взаємодія електронів із речовиною.....	5
1.2 Будова та отримання зображень в мікроскопі.....	12
1.3 Формат відео-кадру для формування зображення на моніторі мікроскопу...20	
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКЦІЯ ПРИСТРОЮ.....	29
2.1 Загальна характеристика відеотракту REM100.....	29
2.2. Розрахунок електричних та часових режимів роботи пристрою.....	32
2.3 Формат зображення.....	34
2.4 Компоненти пристрою.....	36
2.5 Економічні розрахунки.....	38
ВИСНОВКИ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	40
ДОДАТОК. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	42

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Завдяки растровій електронній мікроскопії досліджують об'єкти, освітлюючи їх тонко сфокусованим пучком електронів, який розтікається в решітку на поверхні зразка. Внаслідок взаємодії сфокусованого електронного пучка з поверхнею зразка виникають вторинні електрони, відбиті електрони, характерне рентгенівське випромінювання, оже-електрони й фотони різної енергії. Вони виробляються в певному обсязі виробленої області у зразку, за допомогою якого можна виміряти багато його властивостей, наприклад топографію поверхні, хімічний склад, електрофізичні властивості тощо .

Основною перевагою широкого використання растрової електронної мікроскопії є висока роздільна здатність, аж до 1,0 нм (10 Å), при дослідженні масивних об'єктів. Іншою важливою особливістю зображень, отриманих у растрових мікроскопах, є їх об'єм, обумовлений великою глибиною різкості приладу. Розвиток мікротехнологій і поява нанотехнологій, в яких розміри елементів значно менші за довжину хвилі видимого світла, зробили растрову електронну мікроскопію чи не єдиним неруйнівним методом візуального контролю в твердотільній електроніці та мікромеханічному виробництві. Зручність використання растрової мікроскопії в мікро- та нанотехнологіях обумовлена відносною простотою підготовки зразків та ефективністю дослідження, що дозволяє використовувати її для сумісного контролю технічних параметрів без значних витрат часу. Зображення в растровому мікроскопі утворюють телевізійний сигнал, що значно спрощує обробку результатів дослідження. Для візуальних досліджень використовуються фото та відеозображення досліджуваних зразків. Растрові електронні мікроскопи формують нестандартний відеосигнал для утворення зображень в електронних променевих трубках.

Метою даної роботи є дослідження можливостей розробки та створення пристрою, який би дозволяв формувати з відеосигналу растрового електронного мікроскопу PEM100 оцифрований відеосигнал для отримання зображення на моніторах та з можливістю його збереження на цифрових носіях даних.

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Розділ 1. Принцип роботи мікроскопу РЕМ100

1.1 Взаємодія електронів із речовиною

1.1.1 Взаємодія електронного променя з речовиною

Коли електронний промінь взаємодіє з твердою мішенню, виникає велика кількість різного роду сигналів. Джерелом цих сигналів є області випромінювання, розміри яких залежать від енергії пучка та атомного номера бомбардованої цілі. Розмір цієї області при використанні певного типу сигналу визначає роздільну здатність мікроскопа. На рис.1.1.1 показані області збудження в зразку для різних сигналів.

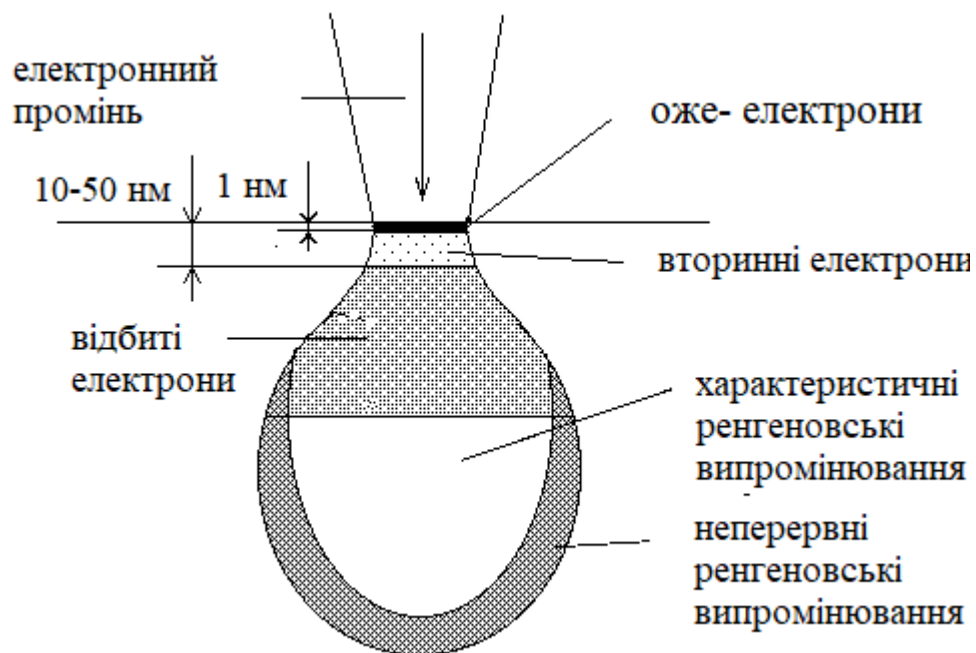


Рис.1.1.1.1. Области генерації сигналу в зразку

Повний розподіл енергії електронів, випущених зразком показано на рис.1.1.1.2. Отримано при енергії падаючого пучка $E_0=180$ eV, по осі ординат відкладено кількість електронів, випущених мішенню $J_s(E)$, а по осі абсцис – енергія цих електронів E . Зверніть увагу, що тип залежності показано на рис.1.1.1.2. справедливо також для пучків з енергією 5 – 50 keV, які використовуються в скануючих електронних мікроскопах.

I група складається з пружно відбитих електронів з енергією, близькою до енергії первинного променя. Вони виникають під час пружного розсіювання під великими кутами.

									ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						5

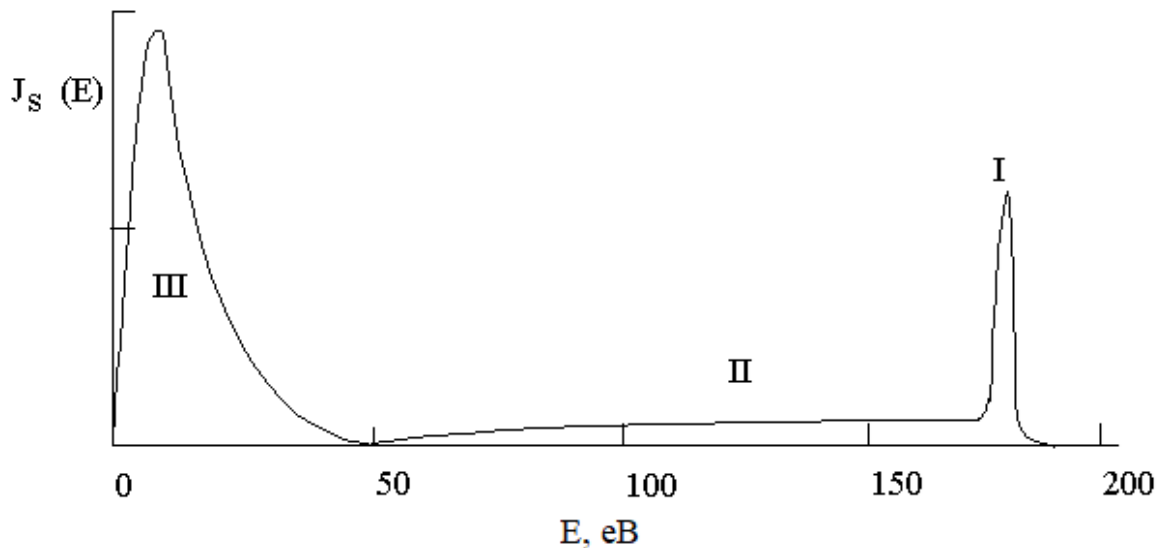


Рис.1.1.1.2. Розподіл випромінюваних електронів за енергіями

Зі збільшенням атомного номера Z пружне розсіювання збільшується і частка відбитих електронів η збільшується. Розподіл енергії відбитих електронів для деяких елементів показано на рис.1.1.1.3.

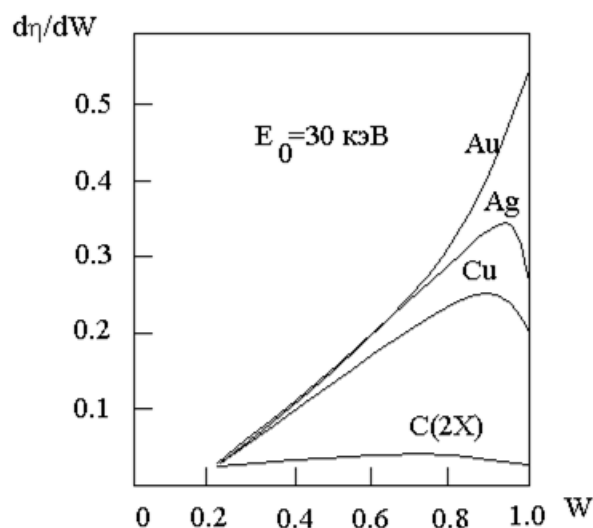


Рис.1.1.1.3. Розподіл відбитих електронів за енергіями

Кут розсіювання 135° , $W=E/E_0$ - нормована енергія, $d\eta/dW$ - кількість відбитих електронів на один падаючий електрон і на одиницю енергетичного інтервалу. З малюнка видно, що зі збільшенням атомного номера не тільки збільшується кількість відбитих електронів, але і їх енергія наближається до енергії первинного променя. Це призводить до появи контрасту за атомним номером і дає можливість вивчати фазовий склад об'єкта.

До II групи належать електрони, які зазнали багаторазового непружного розсіювання та випромінювалися на поверхню після проходження більш-менш товстого шару матеріалу мішені, втративши певну частину початкової енергії.

Електрони III групи — вторинні електрони з низькою енергією (менше 50 eV), які утворюються при збудженні зовнішніх оболонок атомів-мішеней первинним пучком слабозв'язаних електронів. Основний вплив на кількість вторинних електронів мають рельєф поверхні зразка та локальні електричні та магнітні поля. Кількість виникаючих вторинних електронів залежить від кута падіння первинного променя (рис. 1.1.1.4.).

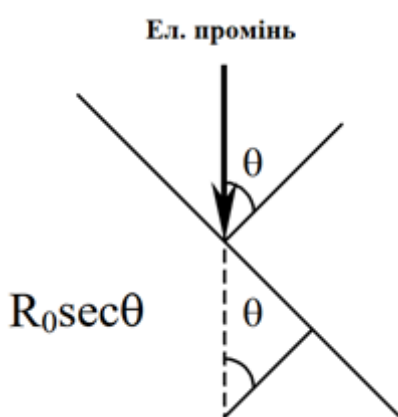


Рис.1.1.1.4.

Нехай R_0 — максимальна глибина виходу вторинних електронів. Якщо зразок нахилений, то довжина шляху на відстані R_0 від поверхні збільшується:

$$R = R_0 \sec \theta$$

Отже, кількість зіткнень, при яких народжуються вторинні електрони, також збільшується. Тому незначна зміна кута падіння призводить до помітної зміни яскравості вихідного сигналу. Через те, що генерація вторинних електронів відбувається переважно в приповерхневій області зразка (рис.1.1.1.1), роздільна здатність зображення у вторинних електронах близька до розміру первинного електронного пучка.

Характерне рентгенівське випромінювання виникає в результаті взаємодії падаючих електронів з електронами внутрішніх K, L або M оболонок атомів зразка. Спектр характеристичного випромінювання несе інформацію про хімічний склад об'єкта. На цьому базуються численні методи мікроаналізу

									Арк.
									7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ				

складу. Більшість сучасних скануючих електронних мікроскопів оснащені енергодисперсійними спектрометрами для якісного та кількісного мікроаналізу, а також для створення карт поверхні зразка в характерному рентгенівському випромінюванні окремих елементів.

1.1.2. Взаємодія важких заряджених частинок з речовиною

Важкими частинками називають частинки, які мають масу у сотні разів більші за масу електронів. Заряджені частинки, що рухаються в речовині, стикаються з електронами атомів і взаємодіють з ними внаслідок взаємодії з електричним полем. Зіткнення важких частинок трапляються дуже рідко, оскільки ядра в атомах дуже малі. Інгібує ефект на ядерні важкі частинки дуже малий. Дослідимо якісну взаємодію важкої частинки А із зарядом q , що проходить через електрон e з певною швидкістю Рисунок 1.1.2.1.

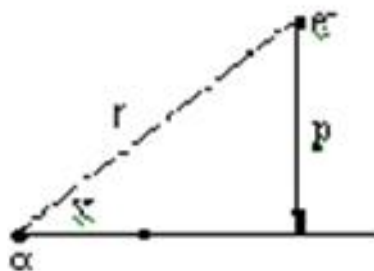


Рис.1.1.2.1.

Якщо швидкість електрона набагато менша за швидкість частинки, електрон можна вважати нерухомим. Кулонівські сили створюються, коли заряджені частинки діють на нерухомі електрони:

$$F_k = \frac{qe}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

де r – дистанція між зарядами (залежність від час); $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — вакуумна діелектрична проникність.

Кулонівська сила орієнтована по радіусу r . Позитивно заряджені частинки притягують електрони і починають рухатися до частинок. З іншого боку, негативно заряджені частинки відштовхують електрони. Оскільки маса важких частинок набагато більша за масу електронів, частинки майже не змінюють напрямку свого руху після зіткнення з електронами.

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		8

За одне зіткнення з електроном енергетичні витрати важкої зарядженої частки визначають за формулою:

$$\Delta E \approx \frac{q^2 e^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 m_e v^2} \times \frac{1}{p}$$

де p – найменша дистанція електрона до траєкторії частинки.

Енергетичні затрати пропорційні квадрату заряду часточки. Збільшуючи швидкість v , години взаємодії частки з електроном, одночасно зменшуючи втрати енергії за одне зіткнення. Втрата енергії не залежить від маси частинок, оскільки при зіткненні частинок з електронами відбувається взаємодія їх електричних полів. Мінімальні непружні втрати обмежені енергією збудження електронів в атомі. Частка може передати електрону лише частину своєї енергії, що дозволяє їй вийти на один рівень збудження атома. В результаті, виходячи з деякого параметра $p > p_0$ зіткнень, частинки взаємодіють не з окремими електронами, а з цілими атомами. У цьому випадку частинки пружно стикаються з атомами. Максимальний параметр зіткнення p_0 , при якому атом збуджується або іонізується, залежить від порядкового номера Z , ступеня зв'язування електронів в атомі. Втрати енергії заряджених частинок на непружних (збудження та іонізація) і пружних (зіткнення з атомами) зазвичай відносять до іонізаційних втрат. Вони характеризуються специфічною іонізацією, що дорівнює кількості іонних пар (електронів, іонів), присутніх на одиниці шляху частки. Для створення іонної пари в одній і тій же речовині всі заряджені частинки розсіюють в середньому однакову кількість енергії, приблизно половина якої витрачається на іонізацію, а інша половина — на збудження та пружні зіткнення з молекулами. Наприклад, для утворення іонної пари у повітрі зарядженій частинці потрібно близько 34 еВ енергії. Від цієї енергії близько 15 еВ переходить на іонізацію молекули, інші 19 еВ - переходить на збудження і пружне зіткнення.

Питома іонізація легко обчислюється з питомої втрати енергії (dE / dx), яка дорівнює зміні кінетичної енергії на одиницю шляху, частинка якої рухається

						ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
							9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

через матеріал. Кількість пар іонів нікелю на одиницю шляху дорівнює питомій втраті енергії, поділеній на середню втрату енергії в речовині для утворення однієї іонної пари:

$$N_i = \frac{1}{E_n} \times \left(\frac{dE}{dx}\right)_n$$

Питомі втрати енергії частинки і зміна енергії електричного поля при зіткненні з електроном залежать від квадрата заряду частинки і квадрата її швидкості. Крім того, він пропорційний кількості електронів, що стикаються на одиниці шляху. Кількість таких зіткнень, у свою чергу, пропорційна концентрації атомних електронів у речовині N_e .

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_n \sim \frac{N_e q^2}{\vartheta^2}$$

Питома втрата енергії лінійно пов'язана з густиною атомних електронів N_e . В той момент густина N майже постійна для твердих речовин, а

$$N_{e_1} = N_{e_2}$$

У двох простих речовинах іонізаційні питомі втрати енергії відношення мають між собою як їх порядкові номери в таблиці Д. І. Менделєєва:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{n_1} \div \left(\frac{dE}{dx}\right)_{n_2} = z_1 \div z_2$$

Іонізаційні витрати протонів у свинцю ($z = 82$) приблизно в 16 разів вищі, ніж у вуглецю ($z = 6$).

1.3.1. Вільний пробіг важких заряджених частинок у речовині

Заряджені частинки долають відстань у речовині, перш ніж втратити всю кінетичну енергію. Шлях зарядженої частинки в речовині, що рухається до зупинки, називається вільним пробігом R . Розмір вільного пробігу визначається питомими втратами енергії. Чим більше щільність атомних електронів і заряд частинок, тим більші ці втрати і менший розмір частинок у речовині. Сильно заряджені частинки, які взаємодіють переважно з атомними електронами, трохи відхиляються від напрямку свого початкового руху. Тому відстань важкої

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частинки вимірюється відстанню по прямій лінії від джерела частинки до точки її зупинки. Параметри зіткнення альфа-частинок з електронами можливі, тому вільні пробіги альфа-частинок у речовині мають деякі варіації. Невелика частина а-частинок проникає далі від джерела, ніж інші. Середній діапазон R_a моноенергетичних альфа-частинок зазвичай розраховується за емпіричною формулою. Отже, у повітрі при оптимальних умовах :

$$R_a = B \cdot E_a^n$$

де R_a – пробіг у сантиметрах; E_a – кінетична енергія ; a – частинок у MeV . Для a – природних часток, a – випромінювачів ($4 \text{ MeV} < E_a < 9 \text{ MeV}$), $B = 0.318$, $n = 1.5$. Для a – частинок з більш високими енергіями $E_a \geq 200$ (MeV) $B = 0.148$, $n = 1.8$. Так, a – частинки з енергіями $E_a = 5 \text{ MeV}$ пробігають у повітрі відстань 3.51 см, а з енергією $E_a = 30 \text{ MeV}$ – 68 см. Відношення лінійних пробігів двох типів частинок, які рухаються у повітрі з однаковими швидкостями, пропорційний відношенню питомих втрат енергії часток:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{m_1}{m_2} \times \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^2$$

де m_1 і m_2 – маса часток; z_1 і z_2 – зарядові числа частинок.

Майже весь час замість лінійного пробігу користуються масовим пробігом зарядженої частинки R_m , котрий виявляється через грам на квадратний сантиметр ($г/см^2$). Масовий пробіг кількісно дорівнює масі речовини , яка міститься в циліндрі, висота якого рівна лінійному пробігу частки R у сантиметрах з площею поперечного перерізу — 1 см^2 .

$$R_\infty = \rho R$$

де ρ — густина речовини $г/см^3$.

Пробіг масової зарядженої часточки зручно використовувати , бо від хімічного складу речовини мало залежить.

										Арк.
										11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ					

1.2. Будова та отримання зображень в мікроскопі

Растровий електронний мікроскоп складається з таких основних блоків і модулів: блок живлення, електронно-оптична колонка з камерою для зразка та джерело електронів, детектори, а також система індикації зображення. Джерелом електронів у растровому електронному мікроскопі є електронна «гармата» (рис.1.2.1.1.), що складається з емітера електронів (катода), виходячи з якого потім електрони прискорюються, рухаючись до зразка. Зображення в растровому електронному мікроскопі формується шляхом переміщення електронного променя з наступною передачею сигналу від детектора електронів на екран. Вибір того чи іншого типу сигналу визначається завданням дослідження - вивчення топографії зразка і вивчення його елементарної композиції здійснюється шляхом виявлення вторинних електронів або здійснюється методом відбитого (зворотно розсіяного) електрона. Вторинні електрони в результаті бомбардування зразка електронним променем, значно відрізняються від розсіяних електронів нижчої енергії, складаючого близько 50 електрон-вольт.

Електрони пучка прискорюються електричним полем, створеним між ними гарматою і анодом, який можна змінювати від 1 до 20 кіловольт. Низькі напруги використовуються при дослідженні діелектричних об'єктів, щоб уникнути заряджання зразка електронами пучка. Щоб досліджувати об'єкт не тільки в локальній зоні, промінь необхідно переміщати з однієї точки до іншої за допомогою системи сканування. Сканування зазвичай здійснюється за допомогою комбінованих електромагнітних відхиляючих котушок у двох парах, кожна з яких служить для відхилення відповідно в горизонтальному і вертикальному напрямках. Електронний промінь з часом рухається через послідовні позиції на зразку під час сканування, досліджуючи властивості зразка в контрольованій послідовності точок.

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.1.2.1.1. Принципова схема растрового електронного мікроскопа

В аналоговій системі після завершення сканування вздовж рядка положення рядка трохи зміщується у вертикальному напрямку (кадрове сканування), і процес повторюється, утворюючи на екрані растр. У растровому електронному мікроскопі формування зображення здійснюється за допомогою операції відображення, що перетворюють інформацію з простору досліджуваного об'єкта на екран для його візуального спостереження та фотографічного відтворення. Детектор використовується для прийому того чи іншого виду випромінювання і перетворення випромінювання, що виходить із зразка, в електричний сигнал. Після проходження через підсилювач цей сигнал імітує інтенсивність на екрані спостереження та фотографування.

Найбільш широко використовуваний детектор при скануванні електронів мікроскопія — сцинтиляторно - фотопомножувач, сучасну форму якого розробили Еверхарт і Торнлі.

Світлове випромінювання від сцинтилятора проходить через волокно і поглинається фотопомножувачем, де перетворюється в електричний сигнал. Сигнал від фотопомножувача йде на попередній підсилювач, а звідти по кабелю подається на вхід відеопідсилювача. Так як енергії вторинних електронів недостатньо щоб активувати сцинтилятор, їх прискорюють завдяки високій напрузі.

Формується контраст зображення в растровому електронному мікроскопі шляхом зміни кількості вторинних або розсіяних електронів, зібраних з різних частин поверхні зразка. Тому величина сигналу, що визначає яскравість будь-якої точки на екрані, комплексно залежить від ряду факторів. Механізм контрасту буде іншим для вторинних і розсіяних електронів через значну різницю їх енергій.

Енергія вторинних електронів не перевищує 50 еВ (електронвольт), при цьому тоді як для розсіяних електронів це значення становить 20 кеВ. Основна відмінність цих двох типів електронів полягає в тому, що швидкі зворотно розсіяні електрони рухаються від зразка до сцинтиляційного детектора по прямолінійній траєкторії, тоді як повільні вторинні електрони - по криволінійних траєкторіях. Таким чином, ті ділянки поверхні зразка, з яких неможливо провести пряму лінію до детектора, можна візуалізувати лише за допомогою вторинних електронів. Це є головна причина вищої інформативності вторинно-емісійного зображення. Крім того, вторинні електрони дають більший загальний сигнал, і, отже, краще співвідношення сигналу до фону.

Електронний зонд рухається від точки до точки відхилення променя за допомогою пари електромагнітних котушок, які стоять перед останніми (об'єктними) електронними об'єктив. Котушки створюють магнітне поле через зонд і промінь злегка «обгортає» силові лінії. Обслуговування на електромагніти пилкоподібна напруга розгортки, аналог як це робиться в телевізійній трубці, можна «прогнати» щупом над поверхнею досліджуваного

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

зразка. На рис.1.2.1.2. наведені графіки зміни в часі струму відхиляючих котушок і схематичне зображення сформованого растру.

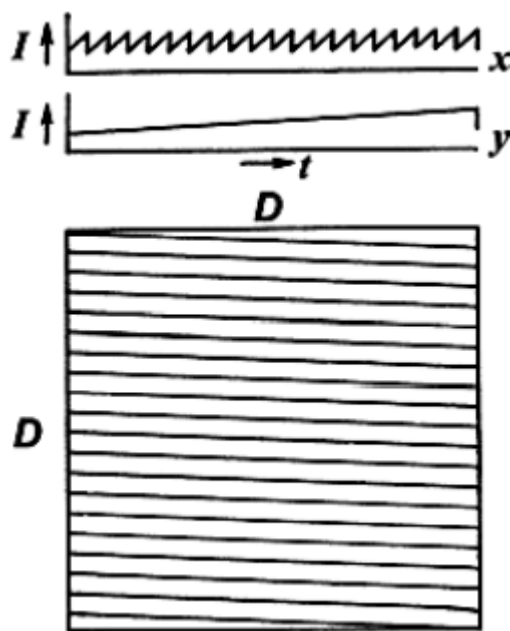


Рис.1.2.1.2. Змінення в часі струму відхилювальних котушок і схематичне зображення сформованого растру

Посилений сигнал від детекторів електронів контролює яскравість променя електронно-променевої трубки, розгортка якої синхронізована з розгорткою електронного мікроскопа. Частота сканування і кількість рядків може варіюватися в широких межах. Збільшення мікроскопа легко змінюється при пропорційному змінюванню сили струму у відхилювальній котушці мікроскопа відносно струму в відхилювальній котушці електронно-променевої трубки. Монітор створює чорно-біле зображення, на якій шкала сірого відповідає шкалі інтенсивності потоку істинно квадратичних або пружно відбитих електронів. У запропонованій установці існує можливість оцифрування та подальшого перенесення зображення на комп'ютер. Це дозволяє, використовуючи математичні методи обробки зображень, покращити якість отриманого зображення.

1.2.2. Отримання зображень у відбитих електронах

Відбиті електрони утворюються, коли первинні електрони розсіюються на великі кути (до 90°) в результаті одноразового пружного розсіювання або в результаті багаторазового розсіювання на малих кутах. Зрештою, первинні

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

електрони, переживаючи серію взаємодій з атомами зразка і втрачаючи при цьому енергію, змінюють траєкторію свого руху і залишають поверхню зразка. Розміри області генерації відбитих електронів є значними і залежать від довжини шляху електрона в матеріалі зразка.

Довжина області збільшується зі збільшенням напруги, що прискорює первинні електрони, і зменшенням середнього атомного номера Z елементів, що входять до складу зразка. Електрони, які втратили частину своєї енергії в процесі відбиття, залишають зразок на відносно великій відстані від точки, куди впав електронний зонд. Тому переріз, з якого приймається сигнал (рис. 1.2.2.1.), буде значно більшим, ніж у зонда.

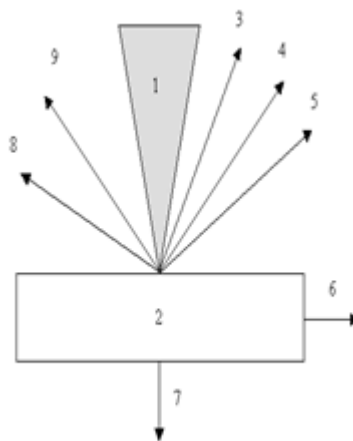


Рис. 1.2.2.1. Ефекти взаємодії електронного променя з об'єктом (1 - електронний промінь; 2 - об'єкт; 3 - відбиті електрони; 4 - вторинні електрони; 5 - електрони оже; 6 - поглинений електронний струм; 7 - пропущені електрони; 8 - люмінесцентний катодний опромінення; 9 - рентгенівські промені).

Важливою особливістю відбитої електронної емісії є її залежність від атомного номера елементів. Якщо атомний номер атомів матеріалу в точці падіння первинного електронного пучка невеликий, то утворюється менша кількість відбитих електронів з малим запасом енергії. У областях зразка, що містять високу концентрацію атомів з високим атомним номером, більше електронів відбивається від цих атомів і на меншій глибині в зразку, що призводить до менших втрат енергії, коли вони рухаються до поверхні. Ці закономірності використовуються для отримання зображень у відбитих електронах.

						ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			16

Вторинні електрони. Первинні електрони, що потрапляють у зразок, взаємодіють з електронами зовнішніх оболонок атомів об'єкта, передаючи їм частину своєї енергії. Атоми зразка іонізовані, і вивільнені в цьому випадку електрони можуть залишити зразок і виявлятися як вторинні електрони. Вони мають дуже низьку енергію до 50 еВ і тому виходять із ділянок зразка дуже близько до поверхні. Глибина шару, що дає вторинний електрон, становить від 1 до 10 нм. У цьому шарі розсіювання електронів мізерно мало, тому при зображенні вторинних електронів роздільна здатність залежить насамперед від діаметра первинного зонда. Вторинні електрони забезпечують максимальну роздільну здатність близько 10 нм порівняно з іншими сигналами.

Кількість утворених вторинних електронів слабо залежить від атомного номера елемента. Основним параметром, що визначає ефективність вторинних електронів, є кут падіння первинного електронного пучка на поверхню об'єкта. Вторинна електронна емісія відбувається в об'ємі, близькій до області падіння променя, що дозволяє отримувати зображення з відносно високою роздільною здатністю. Тривимірне зображення створюється завдяки великій глибині різкості растрового електронного мікроскопа.

1.2.3. Зображення зразку в режимі поглинутого струму

Зображення зразка в режимі поглиненого струму отримується за допомогою тримача зразка, який ізольований від землі та підключений до зовнішніх клем чутливого підсилювача струму. Під час роботи зонда частина згенерованих електронів залишається в обсязі зразка. Таким чином, при енергіях первинного пучка від 10 до 20 кеВ близько 50% загальної кількості вироблених вторинних і відбитих електронів досягає і покидає поверхню зразка. Решта електрони утворюють струм поглинених електронів I_s . Його значення дорівнює різниці між струмом зонда I_p і струмами відбитих і вторинних електронів.

$$I_s = I_p - I_{BSE} - I_{SE} = I_p(1 - \eta - \delta)$$

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Поглинені електрони утворюються у великому обсязі. Цей метод отримання зображень використовується рідко через його низьку роздільну здатність.

1.2.4. Режим наведеного струму

Режим індукованого струму, індукований електронним зондом, виконується, коли первинний електронний зонд проходить через р-n-перехід у напівпровідниковому зразку. Це створює додаткові електронні дірки, що призводить до протікання струму між двома електродами, прикріпленими до поверхні зразка. Якщо цей струм використовувати як модулюючий сигнал, поданий на екран монітора скануючого електронного мікроскопа, то ділянки, через які проходить р-n-перехід, будуть виділені на зображенні контрастом світла в наведеному струмі. У цьому випадку р-n-переходи в інтегральних схемах, приховані під поверхнею мікросхеми, але за умови, що вони лежать в межах глибини проникнення первинних електронів, також будуть генерувати сигнали індукованого струму. Можна навіть використовувати залежність глибини проникнення від первинної енергії E_0 для спостереження проходу на різних глибинах.

1.2.5. Зображення у вольтовому контрасті

Потенційний контраст зазвичай виникає в напівпровідникових мікросхемах, коли напруга прикладається до ділянок поверхні зразка. Продукція вторинних електронів зменшується в областях, які позитивно поляризовані, оскільки низькоенергетичні вторинні електрони притягуються назад до зразка.

А ділянки зразка, на які впливає негативна полярність, демонструють підвищене випромінювання вторинних електронів, оскільки вторинні електрони відштовхуються від цих областей і з більшою ймовірністю досягають детектора. Контрастне зображення напруги корисне для контролю переходу напруг, прикладених до висновків мікросхеми, до відповідних ділянок цієї мікросхеми. Цей метод також можна використовувати для перевірки нормальної

										ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арж.
Змн.	Арж.	№ докум.	Підпис	Дата							18

роботи мікросхеми, в якій перевіряється, що напруги сигналу з'являються в правильному порядку.

1.2.6. Стробоскопічний метод

Додаючи квадратний струм до відхиляючих котушок, встановлених на колонці скануючого електронного мікроскопа, можна гарантувати, що електронний промінь у SEM періодично відхиляється та переривається відповідною розташованою заслінкою.

Якщо стробування променя відбувається на частоті, дещо відрізняється від робочої частоти інтегральної схеми (ІС), у вторинних електронах на зображенні з'являться цикли напруги з частотою биття, тобто з частотою, яка є різницею між частотою переривання променя і тактової частоти інтегральної схеми, яка може бути досить низькою, наприклад, один цикл в секунду.

1.2.7. Катодолюмінесценція для SEM-візуалізації

Можна виявити фотони, випромінювані зразком. Деякі матеріали випромінюють видиме світло у відповідь на бомбардування електронами, це називається катодолюмінесценцією. Крім люмінофорів, деякі напівпровідники також можуть випромінювати світло рівномірно.

Оскільки катодолюмінесценція більш ефективна при низьких температурах, зразок часто охолоджують до температури нижче 20 К, використовуючи рідкий гель як охолоджуючу рідину.

Видиме світло випромінюється, коли через непружне розсіювання первинний електрон передає кілька електрон-вольт енергії електронам у зовнішній (валентній) оболонці, які потім випромінюють фотон, коли атом повертається до початкового низькоенергетичного стану.

Енергія цього рентгенівського фотона може бути виміряна та використана для визначення атомного номера. Якщо характеристичний рентгенівський сигнал використовується для модуляції інтенсивності растрового зображення під час променевого сканування, то результатом є карта розподілу елементів, що

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

показує розподіл окремих хімічних елементів у зразку, дослідженому в растровому електронному мікроскопі.

1.3 Формат відео-кадру для формування зображення на моніторі мікроскопу

1.3.1. Поняття про розгортку зображення

В основі всіх сучасних телевізійних систем лежить принцип послідовної передачі елементів зображення.

Процес передачі зображення елемент за елементом називається розгорткою зображення, а порядок, в якому передаються окремі елементи зображення, називається методом розгортки. Зображення сканується за допомогою електронного променя.

Телевізійне мовлення передбачає рівномірне переміщення скануючого променя по паралельних горизонтальних лініях, які називаються лініями, з одночасним зсувом у поперечному (вертикальному) напрямку. Усі лінії одна під одною утворюють растр.

На рис.1.3.1.1. і показано формування растру (кількість рядків умовно дорівнює 13).

Переміщення променя по осі x називається горизонтальною розгорткою, а по осі y — кадровою розгорткою. Переміщення променя від початку лінії до її кінця створює пряму лінійну розгортку; повернення променя з кінця попереднього рядка до початку наступного називається зворотною розгорткою.

Сукупність часу прямого t_{znp} і зворотного t_{z36} ходів становить період рядкової розгортки $T_z = t_{znp} + t_{z36}$.

Аналогічно рядковій розгортці, кадрова теж має прямий і зворотний ходи, а період кадрової розгортки, причому $T_{п} \gg T_z$, оскільки число рядків розкладання зазвичай кілька фотон. На рис. 1, б. У показані графіки зміни в часі напруженостей магнітних полів H_p і H_k , створюваних малими та кадровими відхиляючими котушками відповідно. Під час зворотних ходів малої та кадрової

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

розгорток зображення не передається і не відтворюється (електронні прожектори передавальної та приймальної трубок замикаються). За час зворотного ходу кадрової розгортки не бере участі в освіті растру кілька періодів рядків (на рис.1.3.1.1 умовно показаний один рядок). Тому час зворотного ходу як малої, так і кадрової розгорток має бути мінімальним.

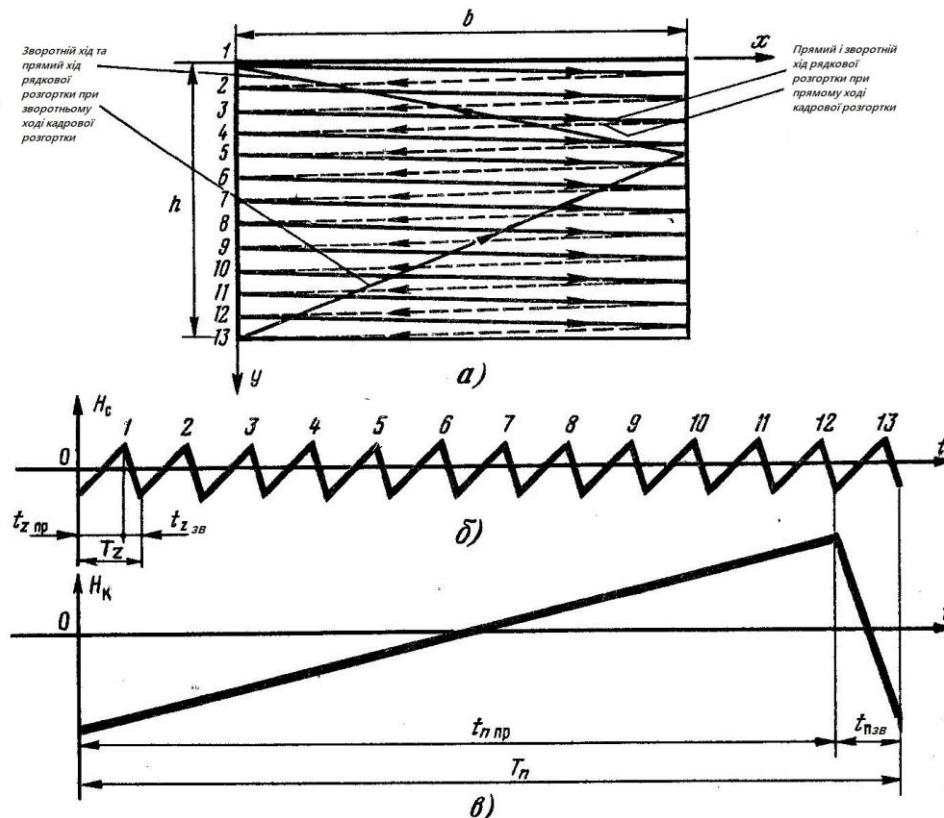


Рис.1.3.1.1. Розгортка зображення: а — утворення телевізійного растру; б,в — змінення напруженості магнітного поля розгорток рядкової й кадрової відповідно розгортки не вдається зробити менше ніж 10-12% від періоду рядка, а зворотній хід кадрової розгортки 7-8% від періоду кадру.

1.3.2. Черезрядкова розгортка

Попередньо було розглянуто, що для для сприйняття злитих зображень необхідно передавати та відтворювати їх із частотою 50 кадрів в секунду. Однак, як буде показано нижче, при такій частоті зміни кадрів сигнал зображення займає дуже широку смугу частот, що по ряду причин небажано. Тому в системах телевізійного мовлення частота зміни кадрів вибирається вдвічі нижче, тобто 25 кадрів в секунду, але застосовується черезрядковий спосіб розгорнення зображення, при якому передається і відтворюється повний кадр у вигляді двох

									Арк.
									21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

напівкадрів або полів. Під час розгорнення першого поля прокреслюються непарні, а під час розгорнення другого поля — парні рядки кадру. Таким чином виходить, що за секунду передається не 25, а як би 50 кадрів.

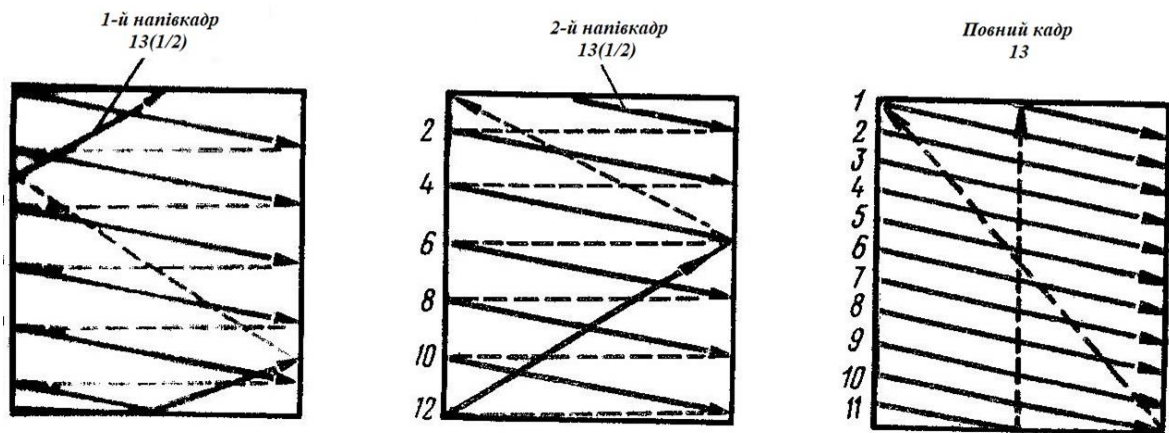


Рис.1.3.2.1. Черезрядкова розгортка зображення

Кожне поле містить інформацію про половину елемента зображення цілого кадру. Однак завдяки інерційності очей сприймає зображення обох полів як злисте зображення, що містить повну кількість елементів. Злитому сприйняттю сприяє також той факт, що при великому числі рядків розкладання сюжет зображення одного рядка мало відрізняється від сюжету наступного рядка.

На рис.1.3.2.1. показано утворення растру при крутці (для 13 рядків). У першому півкадрі рух електронного променя починається у лівому верхньому кутку растру. Промінь прокреслює перший рядок, зміщуючись до кінця її прямого ходу під дією кадрового поля, що відхиляється на рівень третього рядка, потім прокреслює 3, 5, 7, 9-ю і, нарешті, 1-го рядка. Останній непарний рядок першого поля растру (11) прокреслюється не повністю, а тільки наполовину. Потім електронний промінь повертається до верхнього краю растру. На зворотний хід кадрової розгортки припадає друга половина прямого ходу 11-го рядка, її зворотний хід і перша половина прямого ходу 13-го рядка. На початку другого напівкадра електронний промінь прокреслює залишок 13-го рядка, зміщуючись при цьому на рівень другого рядка розгортки, і далі прокреслює всі парні рядки растру (2,4,6,8 і 10). Розгортка останнього парного рядка закінчується в нижньому правому кутку растру. Звідси промінь повертається у

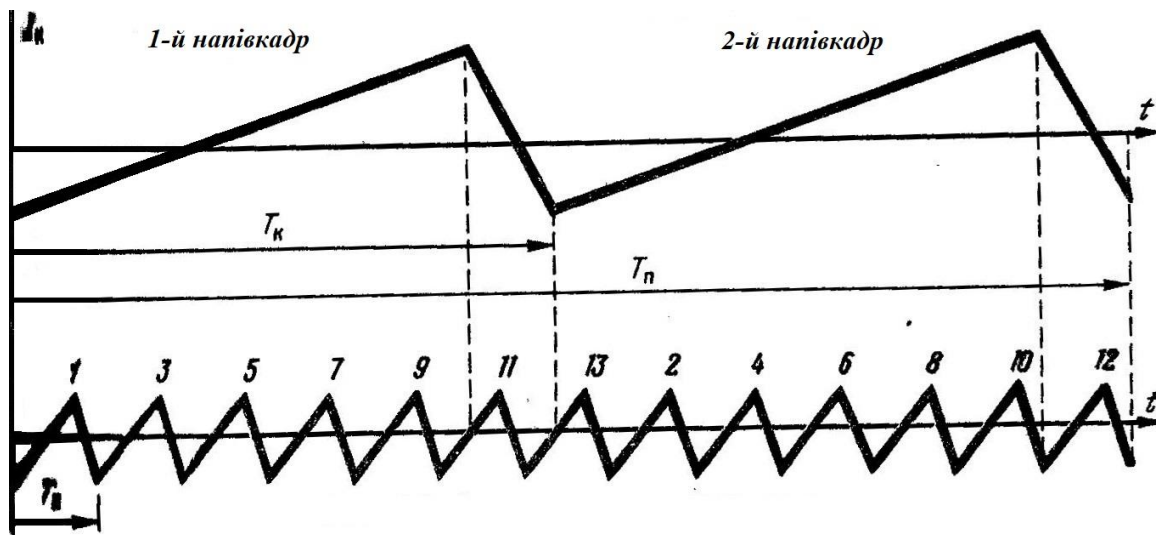


Рис.1.3.2.2.. Форма відхиляючих струмів

верхній лівий кут (прямий та зворотний ходи 12-го рядка), і весь процес починається спочатку.

При суміщенні полів рядки чергуються утворюючи кадр з повним числом рядків, за винятком втрачених під час зворотних ходів кадрів розгортки.

Необхідна форма струмів у кадрових і малих відхиляють котушках при нарядковій розгортці показана на рис. 3 де T_k - період розгорнення одного напівкадра, $T_k = T_n/2$.

Отже, телевізійні розгортки характеризують наступними параметрами: числом рядків розкладання в одному кадрі z , числом кадрів, що передаються в секунду n , форматом кадру K , тобто відношенням ширини растру до його висоти, періодами розгортки кадру T_n , напівкадра T_k і рядки T_z , напрямком руху електронного променя.

Напрямок руху електронного променя під час прямого ходу рядкової розгортки прийнято зліва направо, кадрової розгортки — зверху вниз.

1.3.3.Частотний спектр сигналу зображення

Для визначення необхідної смуги пропускання каналу зв'язок яким передається телевізійний сигнал, необхідно знати частотний спектр сигналу зображення, тобто його нижню і верхню граничні частоти.

Частотний спектр залежить від характеру зображення, і від параметрів розгортки. Нижня гранична частота відповідає зображенню, що має

										Арк.
										23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ					

мінімальну кількість змін яскравості, тобто містить найменшу кількість деталей. Таким зображенням є нерухома картинка, що складається із двох деталей різної яскравості (рис.1.3.3.1.,а). При її розгортанні через навантаження передавальної трубки протягом одного кадру протікають два імпульси струму - по одному в кожному полі (рис.1.3.3.1.,б).

Період утвореного імпульсного сигналу дорівнює періоду полукадра $T_{\Pi} = T_{\kappa}$, яке частота (нижня гранична частота сигналу зображення) частоті зміни полів кадрової розгортки: $f_{\Pi} = f_{\kappa} = 50$ Гц.

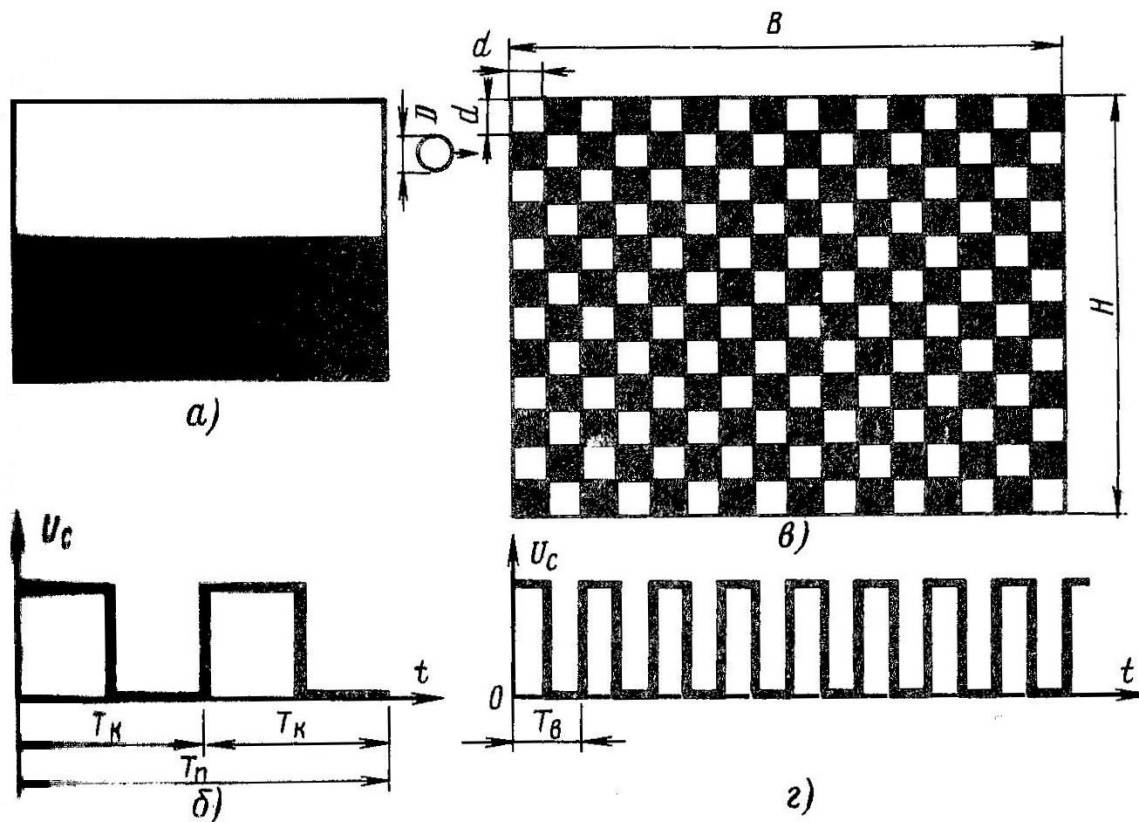


Рис. 1.3.3.1. Визначення граничних частот сигналу зображення: а,б — нижньої, в,г — верхньої

Верхня гранична частота відповідає зображенню, що містить максимальну кількість елементів, яскравість яких дозволяє окремо передати (й відтворити) телевізійна система.

Таке зображення, що складається з світлих і темних квадратів, що чергуються, показано на рис.1.3.3.1. ст.

Геометричні розміри d кожного елемента відповідають висоті рядка, який,

своєю чергою, визначається апертурою — точковим розміром D розгортаючої електронної плями.

При розгорненні кожної пари сусідніх елементів зображення виходять імпульси струму, що йдуть з періодом T_d (рис. 1.3.3.1.,г). частота такого імпульсного сигналу, що є верхньою граничною частотою сигналу зображення, $f_b = 1/T_b$. Верхня гранична частота, як і нижня, знаходиться у прямій залежності від частоти зміни полів, а також від числа рядків розкладання та формату растру. Дійсно, якщо прийняти число елементів зображення, що ховаються по висоті кадру H (див. рис.1.3.3.1.,в), рівним числу розкладання z , то вздовж кожного рядка B покладеться в $K=B/H$ більше, тобто K_z елементів, а загальна кількість елементів буде $K_z = K_z^2$. Для всіх елементів повного кадру проводиться час. Отже, час передачі одного квадрата $T = 2 T_k / N = 2 T_k / K_z^2$ а час передачі кожної пари квадратів, тобто відповідний верхній граничній частоті перепадів імпульсного сигналу, $T_b = 2 T_e = 4 T_k / K_z^2$. Звідси верхня гранична частота

$$f_B = \frac{1}{T_B} = \frac{K_z^2}{4} \frac{1}{T_k}, \text{ або } f_B = \frac{K_z}{4} f_k$$

де $f_k = 1/T_k$ - частота зміни напівкадрів.

Підставивши значення $K = 4/3$, $z = 625$ рядків і $f_k = 50$ Гц, отримаємо $f_B = 6,5$ МГц.

Фактично, внаслідок втрати частини рядків за час зворотного ходу кадрової розгортки число активних (несучих інформацію про зображення) рядків буде дещо менше ніж 625, а $f_B = 6,0$ МГц.

Оскільки верхня гранична частота (6 МГц) означає вище нижньої (50 Гц), то ширина частотного спектра сигнал зображення визначається тільки верхньою граничною частотою $\Delta f = f_B - f_H \approx f_B = 6$ МГц.

Вочевидь, що зі збільшенням частоти зміни кадрів чи числа рядків розкладання збільшується верхня гранична частота і розширюється частотний спектр сигналу зображення. Так, при $f_n = 50$ Гц частотний спектр склав би 12 МГц.

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.4. Поняття про рівні сигналу зображення

Як було показано вище, сигнал зображення є сукупністю імпульсів, амплітуда яких пропорційна яскравості елементів об'єкта, що передається.

Рівень сигналу, що відповідає найтемнішим елементу зображення, називається *рівнем чорного*, а найбільш яскравим *рівнем білого*. Сигнали, що відповідають сірим елементам зображення, займають проміжні рівні.

Якщо рівню білого відповідає максимальне значення сигналу зображення, такий сигнал називається *позитивним*. Якщо рівню білого відповідає мінімальне (а рівню чорного – максимальне) значення сигналу зображення, такий сигнал називається *негативним*.

Сигнал зображення може подаватися на катод або модулятор (керуючий електрод) кінескопа. На катод повинен подаватися негативний сигнал, модулятор - позитивний. Інакше на екрані виникає негативне зображення, тобто. світлі деталі відтворюються темними, а темні – світлими.

1.3.5. Постійна складова сигналу зображення

Світло за своєю природою уніполярне, тому що яскравість не може бути величиною негативною. Отже, і сигнал зображення також уніполярний і тому має середню (постійну) складову.

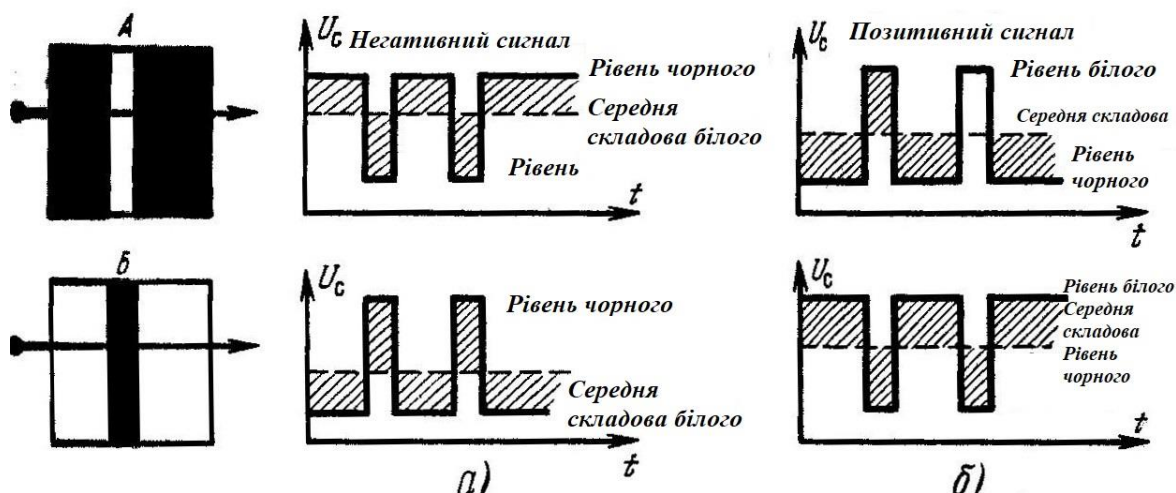


Рис.1.3.5.1. Залежність середнього компонента від характеру зображення для сигналів: а - негатив; б — позитивний

Середнє значення сигналу за рядок пропорційно до середньої яскравості цього рядка. Середнє значення сигналу за повний кадр пропорційно до середньої яскравості всього зображення.

Середня складова залежить, по-перше, від характеру об'єкта (співвідношення площ його яскравих та темних елементів) та, по-друге, від освітленості об'єкта. На рис.1.3.5.1. показано утворення середньої складової для двох зображень, А і Б при позитивному і позитивному сигналах.

У зображенні А переважають темні ділянки, оскільки це вузька світла смужка на темному тлі. У зображенні Б, навпаки, переважають світлі ділянки.

З малюнка видно, що при негативній полярності сигналу для винаходу А середня складова значно більша, ніж для зображення Б. При позитивній полярності сигналу, навпаки, середня складова зображення Б більше, ніж для зображення А. Якщо об'єкт підсвітити, то чорні елементи стануть сірими і середня складова негативного сигналу зменшиться, позитивного збільшиться. Якщо освітлення об'єкта послабити, то середня складова негативного сигналу зросте, а позитивного зменшиться.

При передачі зображення нерухомого об'єкта та постійної освітленості середня складова буде постійною. Зазвичай час телевізійної передачі освітленості та зміст зображення (співвідношення між світлими та темними елементами) змінюються. Однак ці процеси відбуваються поступово. Тому частота змін середньої складової виходить дуже низькою і коливається в межах від 0 до 2...3 Гц, що дає право порівняно навіть із найнижчою частотою сигналу зображення (50 Гц) у всіх випадках вважати середню складову постійної складової сигналу.

У підсилювальних ступенях, що мають розділові конденсатори, постійна складова неминуче втрачається. При цьому будь-яка сцена, незалежно від її змісту та освітленості, відтворюється на екрані кінескопа з однаковою середньою яскравістю, а добре освітлені кадри не відрізняються від затемнених.

У кольоровому телебаченні втрата постійної складової призводить до

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

спотворення насиченості кольорів зображення по всьому полю екрана, недолік середньої яскравості сприймається як згущення фарб, а її надлишок, навпаки, як збіднення. Для усунення спотворень, що виникають внаслідок втрати постійної складової в телевізійних пристроях вживаються заходи щодо її збереження та відновлення.

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Розділ 2. Конструкція пристрою

2.1 Загальна характеристика відеотракту PEM100

Відео тракт електронного мікроскопу PEM100 дозволяє отримати збільшенні зображення досліджуваної поверхні зразка на екрані електронно променевих трубках (ЕПТ).

В даному мікроскопі ЕПТ 23 АМ7В (з довготривалим після свіченням) використовується для візуального спостереження. ЕПТ 16АК2Б з коротким після свічення використовується для отримання фотографії.

Відеотракт складається із двох частин:

- відео підсилювач
- системи розгортки.

Відеопідсилювач складається із наступних блоків :

- попередній підсилювач
- блок підсилення і обробки сигналу
- блок індикації
- блок живлення детектора

Система розгортки включає:

- блок розгортки
- блок регулювання збільшення
- канал первинних джерел живлення.

Особливістю відеопідсилювального тракту полягає в тому ,що основне підключення сигналу відбувається на змінній складові ,а відновлення постійних рівнів відбувається на виході відеотракта.

Крім того відео тракті відбувається наступна обробка сигнал :

- подавлення постійної складової
- нелінійне підсилення
- зміна полоси частоту відеосигналу при зміні числа рядків та їхньої тривалості

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Система розгорток :

- формує пилкоподібні струми постійної амплітуди g систем відхилення ЕПТ візуального спостереження і фоторегістрації .
- формує і регулює амплітуду вишкоподібних струмів для систем відхилення колон РЕМ100 по рядках і кадрах.
- формує індикацію величини збільшення зображення на індикаторі

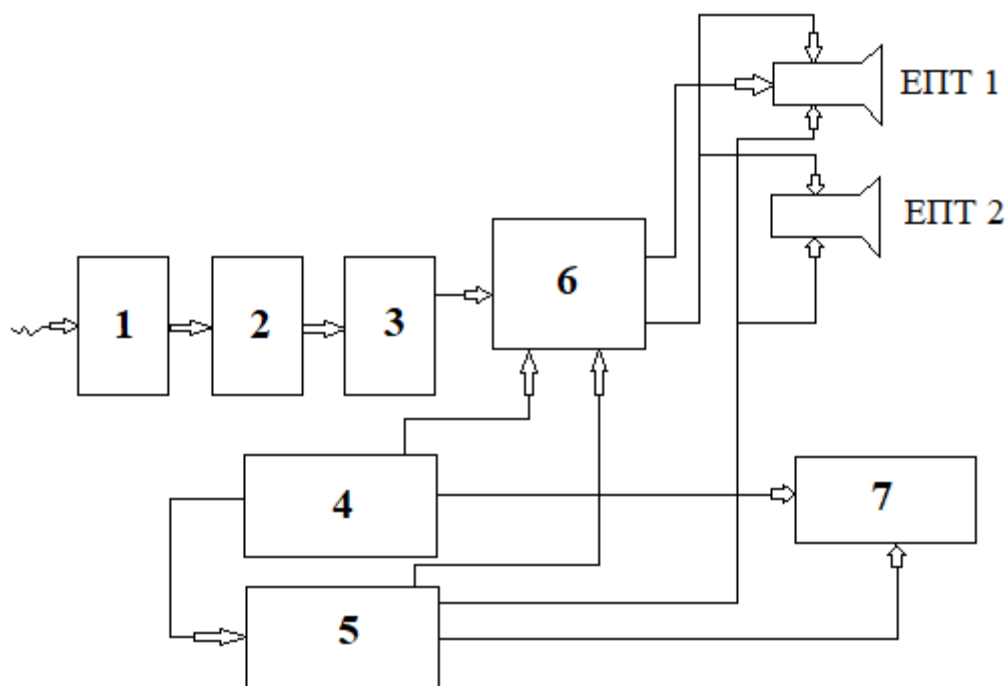


Рис.2.1. Блок схема відеотракту

1 – сицилятор, 2-фотопомножувач, 3 – попередній підсилювач, 4 – формувач рядкової розгортки, 5 – формувач кадрової розгортки, 6 – блок обробки сигналу, 7 – система розгортки електронного променя

Система розгорток рядкової та кадрової розгорток синхронізує пробіг електронного променя в електронно – променевих трубках і електронного променя в колоні мікроскопу по поверхні досліджуваного зразку. Таким чином співвідношення

$$K = \frac{H}{h}$$

визначає збільшення РЕМ (рис. 2.2)

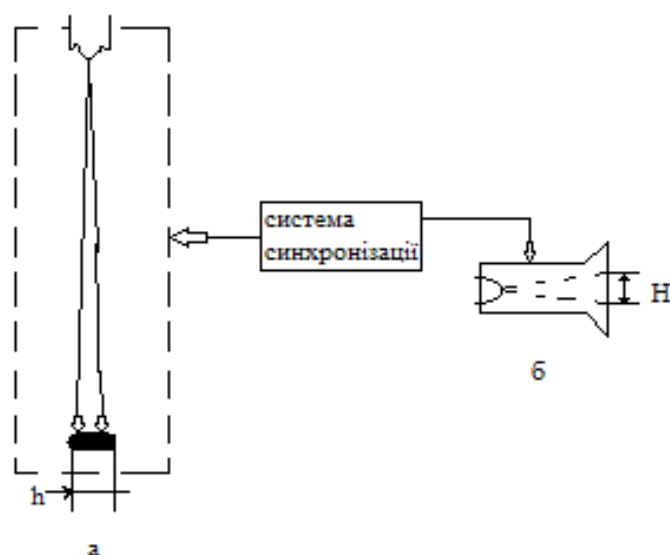


Рис. 2.2. Синхронізація електронних променів в колоні (а) і ЕПТ (б)

Змінюючи параметри розгорток змінюють якість візуального зображення.

Це дозволяє отримувати зображення попереднього спостереження до високороздільного зображення для фотографування. Основний метод синхронізації між рядком і кадром полягає в тому, що синхронімпулси рядка запускають лічильник числа рядків і формують кадр (рис. 2.3)

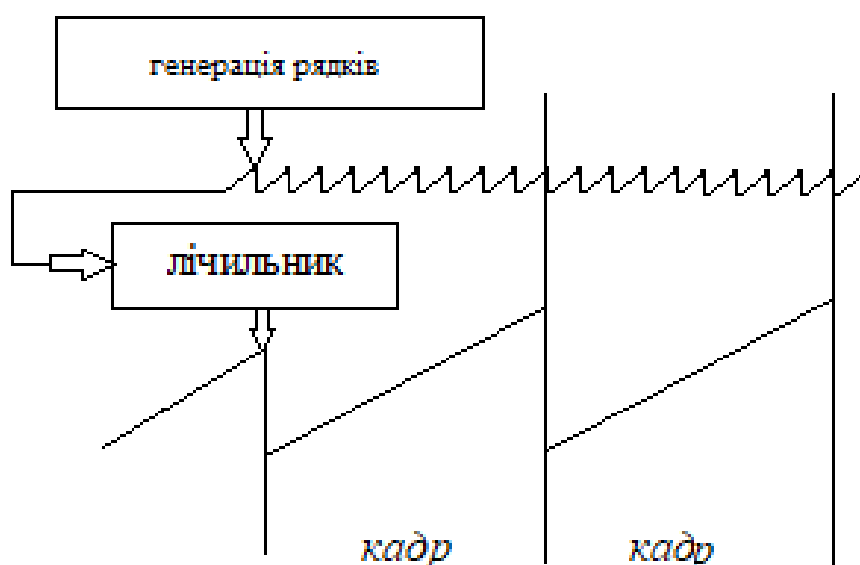


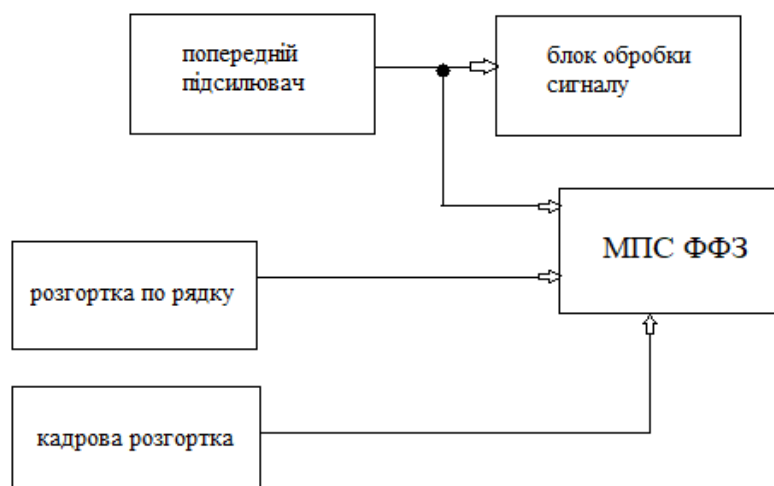
Рис. 2.3. Формування рядкової і кадрової розгортки

Така структура системи синхронізації РЕМ100 дозволяє отримувати тривалість рядкової розгортки: 0,625 мс; 1,25 мс; 5 мс; 10 мс; 20 мс; 40 мс; 80; 200 мс. Причому найкраща якість зображення отримується при тривалості розгортки 0,625 мс. Збільшення числа рядків в кадрі із значенням 125;250;500;1000 також приводить до збільшення якості зображення.

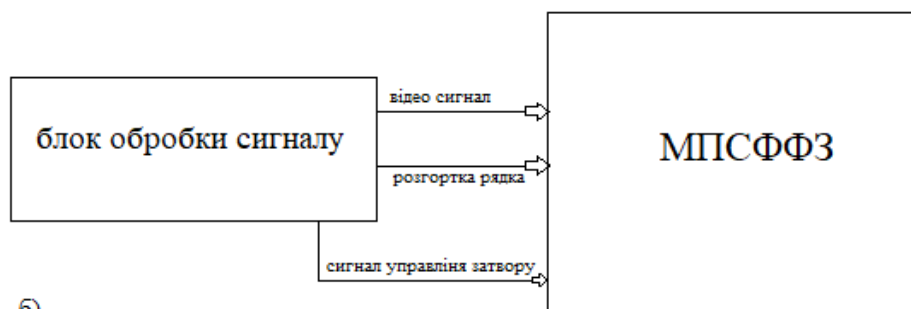
Необхідно відмітити, що система синхронізації керує затвором фотоапарата який робить фотографію із знімка на ЕПТ16АК2Б

2.2 Розрахунок електричних та часових режимів роботи пристрою

Основним функціональним завданням пристрою для збереження візуального зображення поверхні досліджуваного зразка в цифровому форматі. На рис. 2.4 наведено варіанти вирішення даної задачі .



а)



б)

Рис. 2.4. Варіант підключення МПСФФЗ у відеотракт РЕМ100 :

а) блок- схема роздільного інтегрування, б) блок – схема комплексного інтегрування

У всіх варіантах основним пристроєм який здійснює перетворення електронного сигналу в формат зображення є мікропроцесорна система формування файлу зображення. (МПСФФЗ)

У відеотракті РЕМ100 формується комплексний відеосигнал в якому існують сигнали зображення (расту), кадрової і строкової розгортки, імпульси гасіння променя, а окремі сигнали вище перерахованих компонентів.

									Арк.
									32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ				

Структурна блок – схема (рис. 2.4.а) передбачає. Що блок МПСФФЗ повинен обробляти усі складові відеосигналу і на снові результату формувати масив даних зображення .

Блок – схема (рис. 2.4.б.) передбачає використання сигналу управління затвором фотоапарату. Дана блок схема має наступні переваги:

- управління зберіганням зображення здійснюється стандартними засобами РЕМ100.
- Обробляється сигнали расту і розгортки рядку.

На основі характеристик відеотракту в 2.1 для підбору компонентів МПСФФЗ розрахуємо основні частотно – часові параметри відеосигналу. Дані розрахунку наведені в таблиці 1. Дані для таблиці розраховувались з 8 – розрядній градації сірого.

Таблиця 1

	Параметр	Роздільна здатність 800×1000	Роздільна здатність 1024×1000
1	Тривалість рядкової розгортки 0,625 мпс ÷ 200 мпс <ul style="list-style-type: none"> • Частота зміни рядків (кГц) • Частота зміни пікселів в рядку 	1,6 ÷ 0,005 f = 1,28 МГц (T = 0,78 мкс) f = 4 кГц (T = 0,25 мкс)	1,6 ÷ 0,005 f = 1,64 МГц (T = 0,61 мкс) f = 5,12 кГц (T = 0,195 мкс)
2	Ємність масиву даних зображення одного рядку	6400 байт	8192 байт
3	Ємність масиву даних зображення кадру (100 рядків)	6,1 мб	7,8 мб

Оцифровка відеорасти відбувається за допомогою аналого – цифрового перетворювача (АЦП). Найбільш критичними є параметри створення зображення формату 1024 × 1000 піксів при найбільш швидкій розгорці по рядку 0,625 мпс. В цьому випадку АЦП повинен мати швидкодію посилки $\geq 1,64$ Мсемпс.

Частота дискретизації для 8 – розрядного АЦП вираховується за формулою

$$f_{\text{дис.}} = \frac{1}{T^8} = \frac{2^8}{T} = \frac{256}{0,61 * 10^{-6}} \approx 420 \text{ МГц}$$

Для отримання якісного зображення (тривалість розгортки рядка 200 мкс)

$$f_{\text{дис.}} = \frac{2^8}{T} = \frac{256}{0,195 * 10^{-3}} \approx 1,313 \text{ МГц}$$

Розрахуємо роздільну здатність АЦП в перерахунку рівня чорний – білий сигнал растру ЕПТ.

На виході попереднього відеопідсилювача рівень чорний – білий становить 1 В – 0,3 В. На градацію 256 відмінків потрібно при 8 – рядковому АЦП щоб напруга квантування була рівна

$$\Delta U = \frac{0,7 \text{ В}}{256} = 0,0027 \text{ В}$$

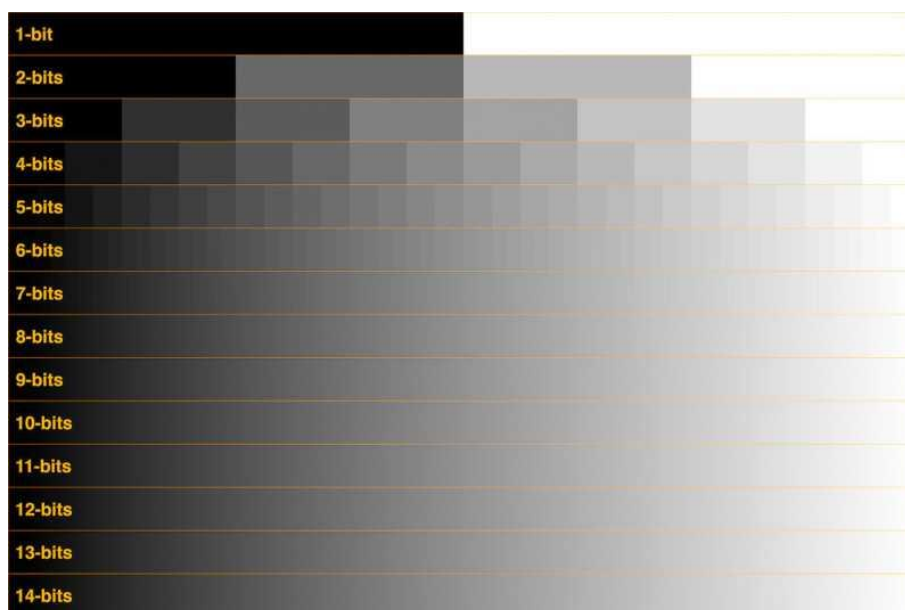
Здебільшого $U_{\text{опор АЦП}}$ становить 1,25; 2,5; 5 В. Тому для отримання градацій 256 відтінків сірого необхідно збільшити діапазон напруги сигналу відеорастру для $U_{\text{оп}} = 2,5 \text{ В}$ в 3 рази.

2.3 Формат зображення

В даному параграфі ми наведемо результати досліджень по вибору оптимального формату збереження даних. Найбільш широко те саме зображення в різних форматах може мати різний розмір і різну якість. Растрові зображення складаються з пікселів, і можуть бути виражені будь-чим: від простих ілюстрацій до комплексних зображень на кшталт кольорових фотографій. Оскільки растрові зображення складаються з фіксованого набору пікселів, при їх масштабуванні не уникнути втрати якості, особливо найбільш поширений формат зображень JPEG (або JPG) є стандартом організації Joint Photographic Experts Group і часто використовується для публікації фотографій та зображень тексту в інтернеті. Формат підтримує 24 біти на піксель, по 8 для зеленого, синього і червоного, що робить цей формат «truecolor», який може відображати більше 16 000 000 кольорів. Якщо їх збільшувати Graphics Interchange Format (GIF) допускає 8 біт на піксель, по три на червоний та зелений та два на синій. Тому GIF-файлам доступні 256 кольорів, хоча можна

отримати і більше, використовуючи кілька кольірних блоків з різними 256 кольоровими палітрами. При стисненні без втрат файли GIF можуть ідеально відтворювати свої обмежені кольорні палітри при багаторазовому повторному стисканні. Формат GIF призначений для зберігання одноколірних або чорно-білих малюнків, схем, іконок, логотипів, прапорців тощо. Якщо кольорів та відтінків на малюнку менше, ніж 256 і при цьому важлива чіткість ліній та рівномірність кольору, картинку слід зберігати у форматі GIF.

Рис. 2.5. Градація відтінків сірого



На рис. 2.5 зображено сіру градацію відтінків при різній розрядності використання глибини знімків. Як помітно різниця градацій для розрядності 8 біт не є суттєвою чим 10- бітна градація.

Файл у форматі GIF складається з фіксованої області на початку файлу, за якою розташовується змінна кількість блоків, і закінчується файл завершувачем зображення.



На початку кожного файлу GIF знаходиться заголовок. Складається він з тексту GIF87a або GIF89a, залежно від версії. У форматі GIF87a змінна область

містить виключно опис зображення, а у форматі GIF89а вона може включати ще й блоки розширень.

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	
00000000	47	49	46	38	39	61	04	00	04	00	A2	00	00	0A	B2	5D	GIF89a ъ I]
00000010	C8	A6	2D	F3	ED	63	BA	60	A5	00	80	C8	F1	60	22	00	И!-унсе`Г`Вис`"
00000020	00	00	FF	FF	FF	21	FF	0B	4E	45	54	53	43	41	50	45	яая!я NETSCAPE
00000030	32	2E	30	03	01	00	00	00	21	F9	04	04	32	00	00	00	2.0 !щ 2
00000040	2C	00	00	00	00	04	00	04	00	00	03	08	08	0A	D2	42	, ТВ
00000050	90	94	59	12	00	21	F9	04	04	1B	00	00	00	2C	00	00	"У !щ ,
00000060	00	00	04	00	04	00	00	03	07	38	16	A7	EC	6D	9D	04	8 \$mm
00000070	00	3B															;

Рис. 2.6.

2.4. Компоненти пристрою

Наведені розрахункові дані щодо мінімальних електричних параметрів, обчислювальних потужностей швидкодії дають змогу визначитись із компонентами пристрою. В таблиці 2 наведено список можливих мікроконтролерів на основі яких можна створити даний пристрій.

Таблиця 2

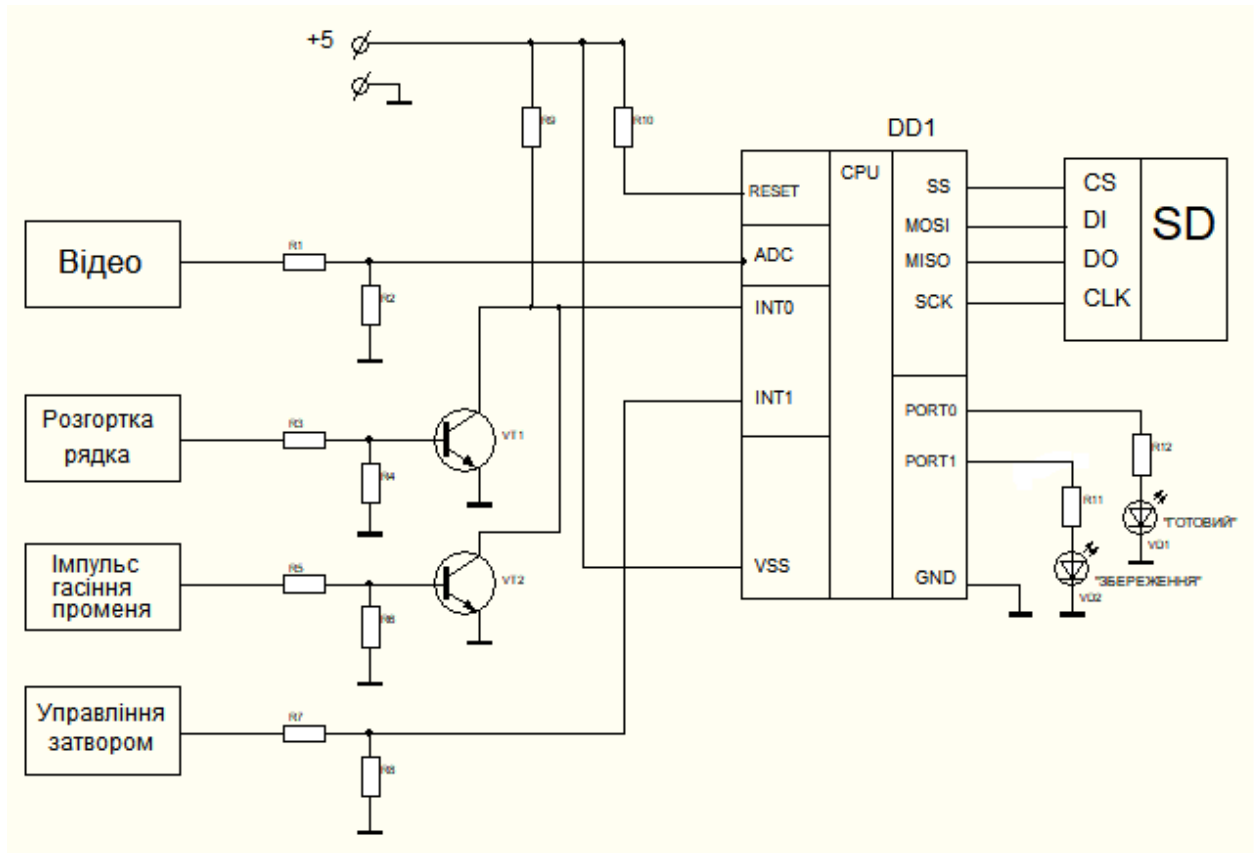
№	Найменування	ПЗП Програ м кБайб	ОЗП кБай т	Тактов а Частот а МГц	АЦП розрядніст ь	Ціна однієї штуки
1	AVR128DB28	128	16	24	12	75,23 грн
2	Raspberry Pi	2 000	264	133	12	216 грн
3	PIC32МК1024GPE0 64	1024	264	120	12	152,11 грн
4	LPC1769	512	64	100	12	717,72 грн
5	NanoPi NEO 256Mb (мінікомп'ютер)		256 000	1200		2048,84гр н

Всі мікроконтролери потрібні за наявності і призначенням периферійних пристроїв. Для нашого приладу необхідна наявність аналого – цифрового перетворювача (АДС), переривань по зміні логічного рівня на вході виводу порту (INT0, INT1), інтерфейсу SPI (mosi, miso, SCK)

На рис. 2.7. приведена електрична принципова схема приладу для збереження растрового зображення PEM100.

										Арк.
										36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ					

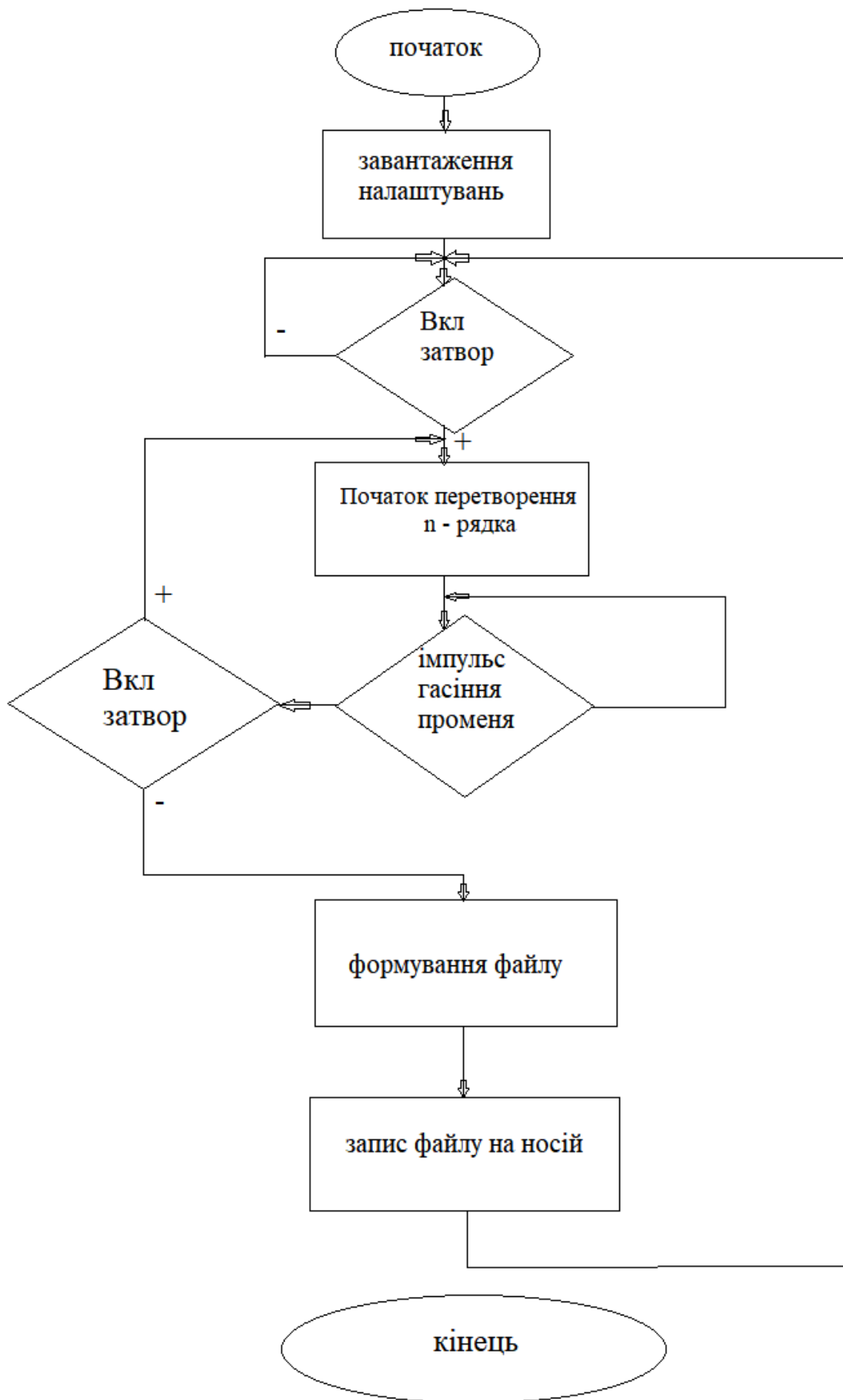
Схема пристрою складена на основі блок – схеми комплексного інтегрування (рис.2.4.).



Джерело живлення схеми +5 В. Дільники напруги на резисторах R1÷R8 використовується для узгодження рівня сигналів відеотракту PEM100 і електричних параметрів CPU (DD1). На VT1 VD2 зібрано елемент «АБО» із відкритим колектором для формування сигналу початку обробки рядка. Карта пам'яті SD підключається до DD1 через інтерфейс SPI. Діоди VD1 VD2 використовуються для індикації процедури обробки і збереження растрового зображення.

Алгоритм роботи пристрою наведений на рис.2.8.

Після включення живлення і завантаження налаштувань переходить у режим «Готовий». Після включення сигналу «затвор» (режим збереження) на основі сигналів розгортки рядка і відео сигналу записується масив даних на основі перетворень АЦП. Виключення сигналу «Затвор» на основі масиву даних АЦП формується файл зображення який записується на носій. Процедура збереження закінчується і система переходить в режим «Готовий».



2.8. Алгоритм роботи пристрою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Висновок

В результаті виконання даної роботи було:

1. Проаналізовано принцип формування растрового зображення в мікроскопі РЕМ100
2. Запропоновано схему підключення пристрою до відеотракту РЕМ100
3. На основі розрахунків в пристрої для отримання знімків роздільною здатністю 800×1000 поставлені вимоги до пристрою:
 - об'єм оперативної пам'яті (min) 6,8 мб
 - частота дискретизації (min) 1,313 МГц
 - діапазон вхідного відеосигналу (min - max) $0,75 \div 2,5V$
4. Рекомендовано для зберігання зображення використовувати gif – формат
5. Розроблена принципова електрична схема пристрою
6. Розроблений алгоритм функціонування пристрою.

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Список використаної літератури

1. Гоулдстейн, Дж. Растрова електронна мікроскопія і рентгенівський мікроаналіз: в 2 т. / Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбері, П. Ечлін і ін. - М.: Мир, 1984.
2. Биков, Ю. А. Растрова електронна мікроскопія і рентгеноспектральний аналіз. Апаратура, принцип роботи, застосування / Ю. А. Биков, С. Д. Карпучін, М. К. Бойченко та ін. Електр. дан. М.: МГТУ ім. Н. Е. Баумана, 2003.
3. Мікроаналіз і растрова електронна мікроскопія / Під ред. Морис Ф., Мені Л., Тіксье Р./, Франція, 1978: пер. з франц.: М.: Металургія, 1985. - 392 з.
4. Сергеева Н. Е. Вступ в електронну мікроскопію мінералів - М.: Изд-у Моськ. ун-та, 1977. - 144 з. (електронний ресурс).
5. Гоулдстейн Дж., Ньюбері Д., Ечлін П., Джой Д., Фіорі Ч., Ліфшин Е. Растровая електронна мікроскопія і рентгенівський мікроаналіз: У 2-х книгах. Книга 1. Пер. з англ. - М.: Мир, 1984. - 303 з., мул.
6. Практична растрова електронна мікроскопія / Під ред. Дж. Гоулдстейна і Х. Яковіца. - М.: Мир, 1978. - 656 з. (електронний ресурс)
7. Руденберг, Х. Гюнтер; Руденберг, Пол Г. (2010). "Походження та передумови винаходу електронного мікроскопа". Досягнення зображень та фізики електронів. 160. С. 207–286. doi:10.1016 / S1076-5670 (10) 60006-7. ISBN978-0-12-381017-5.
8. Історія електронної мікроскопії, 1931–2000. Authors.library.caltech.edu (2002-12-10).
9. Антоновський, А. (1984). Msgstr "Застосування кольору для отримання зображень для збільшення чіткості". Micron і Microscopica Acta. 15 (2): 77–84.
10. Данілатос, Г.Д. (1986). "Кольорові мікрофотографії для зворотньо розсіяних електронних сигналів у SEM".
11. Рейнольдс, Е. С. (1963). "Застосування цитрату свинцю при високому рН як електронно-непрозора пляма в електронній мікроскопії".

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Гай, П.Л .; Бойес, Е.Д. (2009). "Досягнення атомної роздільної здатності електронної мікроскопії пропускання навколишнього середовища in situ та корекції аберації 1А електронної мікроскопії in situ".
13. Рай, Р.С .; Субраманіан, С. (2009). "Роль трансмісійної електронної мікроскопії в напівпровідниковій промисловості для розвитку процесів та аналізу відмов".
14. Соуса, Р.Г .; Естевес, Т .; Роча, С.; Фігейредо, Ф .; Келхас, П .; Сільва, Л.М. (2015). Автоматичне виявлення частинок імунозолотого на зображеннях електронної мікроскопії. Аналіз та розпізнавання зображень.
15. Хокс П., Електронна оптика та електронна мікроскопія, пров. з англ., М., 1974;
16. Деркач В.П., Кияшко Г. Ф., Кухарчук М.С., Електроннозондові пристрої, К., 1974;
17. Стоянова І.Г., Анаскін І.Ф., Фізичні основи методів електронної мікроскопії, що просвічує, М., 1972;
18. Практична растрова електронна мікроскопія, за ред. Д. Гоулдстейна та Х. Яковиця, пров. з англ., М., 1978.

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Охорона праці та техніка безпеки

ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ

1. Працівник перед початком роботи повинен:

- одягнути та привести до ладу передбачений для виконання роботи спецодяг, спецвзуття та ЗІЗ, у тому числі захисні окуляри;
- оглянути і привести в належний стан робоче місце, прибрати зайве.

2. Перед запуском ЕМ або МС необхідно:

- оглянути складові частини ЕМ або МС;
- переконатися в цілісності ізоляції проводів та в тому, що неізольовані струмопровідні частини надійно закриті;
- перевірити наявність і справність заземлення;
- закрити усі кожухи, що захищають від іонізуючого або лазерного випромінювання;
- відкрити вентиль подачі охолоджуючої рідини, якщо він передбачений конструкцією приладу.

3. При виявленні загрози безпечному проведенню роботи, необхідно доповісти про це безпосередньому керівнику і до роботи не приступати. Дозволяється приступати до роботи тільки після усунення виявлених недоліків

ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ

Пуск в роботу ЕМ та МС слід виконувати відповідно до інструкції з його експлуатації.

1. Перед кожним включенням обладнання необхідно переконатися, що його пуск нікому не загрожує.
2. Роботи необхідно проводити згідно встановленим або загально прийнятими методикам.
3. Схема і конструкція приладу ЕМ передбачає повний захист від потрапляння під високу напругу шляхом введення блокування дверей шафи.

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

4. Кожен раз після включення високої напруги, перед розгерметизацією гармати або камери, необхідно переконатись за показниками приладу на пульті, що високовольтні конденсатори повністю розрядилися.
5. Перед розгерметизацією гармати, необхідно переконатись у тому, що перемикач ступенів прискорюючої напруги знаходиться в нульовому положенні, тумблер «Накал» – виключений, а перемикач вимірювання індикатору вакууму знаходиться в положенні «Н.Вакуум».
6. Вмикання та вимикання прискорюючої напруги електронної пушки перевіряти по наявності струму дільника на приладі керування та вмиканню (вимиканню) сигнальної лампочки.
7. При роботі на ЕМ забороняється проводити заміну свинцевих стекол на звичайні або свинцеві меншої товщини, використовувати тимчасові заглушки та працювати на приборах з вимкнутими блокувальними пристроями.
8. Чистку елементів електронної оптики рідинами, легко випаровуються, необхідно проводити у витяжній шафі. Ганчір'я, яке для цього використовувалося, необхідно здати після роботи для спеціалізованої утилізації.
9. При роботі з рідким азотом необхідно бути дуже обачливими. Потрапляння рідкого азоту в очі або на відкриті ділянки шкіри, може призвести до важких опіків.
10. Забороняється: – допускати на своє робоче місце сторонніх осіб; – залишати працююче обладнання без нагляду; – знімати захисні окуляри при роботі будь-якого лазера МС; – самостійно виконувати ремонт обладнання.
11. При будь-яких відхиленнях від нормального режиму роботи експлуатацію ЕМ або МС необхідно припинити і повідомити про це безпосереднього керівника.

					ДП.6.141.37.00 00 - ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		