

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО СКАНУВАЛЬНОГО ОПТИЧНОГО МІКРОСКОПА У КАДРОВОМУ РЕЖИМІ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ МІКРООБ'ЄКТА

© Шклярський В.І., Матієшин Ю.М., 2008

Розглядаються питання використання кадрового режиму вимірювання швидкості руху динамічного мікрооб'єкта у телевізійному сканувальному оптичному мікроскопі. Запропоновано декілька способів розширення діапазону вимірюваної швидкості руху для мікрооб'єктів, що мають різний характер руху: а) прямолінійний з постійною швидкістю; б) прямолінійний зі змінною швидкістю; в) непрямолінійний з постійною швидкістю; г) непрямолінійний зі змінною швидкістю.

Questions of use of a frame mode for dynamic microobject velocity measurement in a television scanning optical microscope are considered. Some ways of a measured velocity range expansion for microobjects which have various character of movement are offered: a) rectilinear with constant velocity; b) rectilinear with changing velocity; c) not rectilinear with constant velocity; d) not rectilinear with changing velocity.

Вступ

Швидкість руху динамічного мікрооб'єкта (МО) V_{MO} у телевізійному сканувальному оптичному мікроскопі може бути визначена в такий спосіб:

$$V_{MO} = L_{MO} / t_{\phi}, \quad (1)$$

де L_{MO} – віддаль, на яку перемістився МО між двома послідовними скануваннями (рис. 1); t_{ϕ} – час, необхідний для фіксації двох послідовних положень МО.

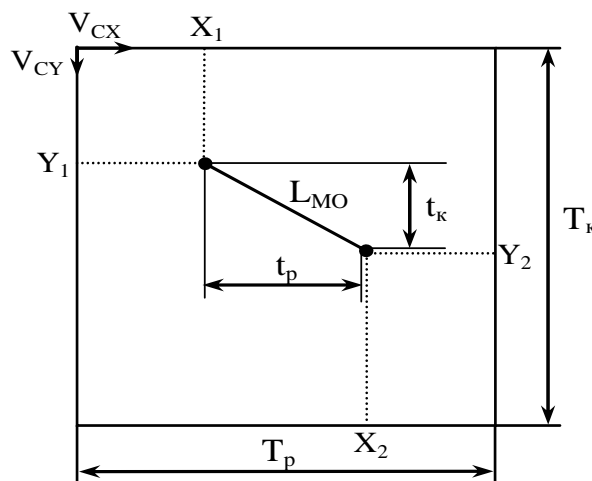


Рис. 1. До визначення швидкості руху МО

Віддаль L_{MO} , на яку перемістився МО, визначається координатами фіксації його місцеположення під час двох послідовних сканувань:

$$L_{MO} = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}, \quad (2)$$

де X_1, Y_1 – координати МО під час першого його сканування, якщо розміри МО співрозмірні з розмірами сканувальної плями в площині сканування, або центра МО, якщо розмір МО значно перевищує розмір сканувальної плями; X_2, Y_2 – координати МО або його центра під час другого сканування.

Час t_{Φ} можна знайти відповідно до виразу

$$t_{\Phi} = T_K + t_K + t_P, \quad (3)$$

де T_K – період формування кадрової розгортки сканувального растра; t_K – час, необхідний для переміщення сканувальної плями з положення Y_1 в положення Y_2 і має додатне значення, якщо напрямок сканування по кадру збігається з напрямком руху МО, і від’ємне, – якщо не збігається; t_P – час, необхідний для переміщення сканувальної плями з положення X_1 в положення X_2 і має додатне значення, якщо напрямок сканування по рядку збігається з напрямком руху МО, і від’ємне, – якщо не збігається.

Формування сканувального растра в телевізійному оптичному мікроскопі може здійснюватися двома способами:

1) рух сканувального променя здійснюється безперервно і плавно, кожне місцеположення сканувальної плями формується імпульсним підсвічуванням сканувального променя, при цьому кількість імпульсів підсвічування в одному рядку N_P визначається розміром сканувального рядка розгортки L_P та мінімальним розміром сканувальної плями d з метою усунення втрат інформації про МО повинна виконуватись умова $N_P > L_P / d$;

2) рух сканувального променя здійснюється дискретно з кроком, який не перевищує роздільної здатності використовуваної електронно-променевої трубки, при цьому кожному фіксованому положенню розгортки відповідає один імпульс підсвічування.

Обидва способи формування сканувального растра будуть ідентичними по визначенню координат місцеположення МО, якщо ці координати відповідатимуть порядковому номеру імпульсу підсвічування в рядку розгортки N_{PMO} та порядковому номеру рядка в сканувальному растрі N_{KMO} .

Досліджуваний МО може рухатися: а) прямолінійно з постійною швидкістю; б) прямолінійно зі змінною швидкістю; в) непрямолінійно з постійною швидкістю; г) непрямолінійно зі змінною швидкістю.

Очевидно, якщо МО рухається прямолінійно з постійною швидкістю, то два послідовні сканування дадуть повну інформацію про швидкість його руху. При цьому мінімальна швидкість руху МО, яку можна визначити двома послідовними скануваннями, визначатиметься віддаллю, яка дорівнює переміщенню сканувального променя в сусідню адресовану точку по будь-якій координаті, а максимальна швидкість руху МО визначатиметься віддаллю, яка не перевищує половини розміру сканувального растра за умови, що цей растр має квадратну форму. В усіх інших випадках, якщо МО перемістився на віддаль, яка перевищує віддаль між двома сусідніми адресованими точками, йдеться лише про середню швидкість руху МО [1]. Підвищити точність вимірювання швидкості МО, які рухаються непрямолінійно та зі змінною швидкістю, можна шляхом збільшення швидкості руху сканувального променя, яка, своєю чергою, визначається періодом формування сканувального растра та його розміром. У роботі розглядаються способи збільшення швидкості руху сканувального променя зміною розмірів сканувального растра за рахунок зменшення кількості елементів розкладу зображення за збереження роздільної здатності формованого зображення МО, що забезпечить високу точність вимірювання швидкості.

1. Телевізійний сканувальний оптичний мікроскоп для вимірювання швидкості руху досліджуваного МО, який рухається прямолінійно з постійною швидкістю

Відомим є сканувальний оптичний мікроскоп [2], який містить послідовно з’єднані перший відеопідсилювач, проекційну електронно-променеву трубку, об’єктив, за яким встановлено досліджуваний мікрооб’єкт, фотоелектронний помножувач, другий відеопідсилювач, а також послідовно з’єднані формувач сигналу розгортки по координаті X, перетворювач напруга-струм по координаті X, котушки відхилення по координаті X та формувач сигналу розгортки по координаті Y, перетворювач напруга-струм по координаті Y, котушки відхилення по координаті Y. Однак такий мікроскоп не дає можливості вимірювати швидкість руху динамічних МО. Цей недолік усунуто в технічному рішенні реалізації сканувального оптичного мікроскопа [3], структурну схему якого показано на рис. 2.

До складу такого сканувального мікроскопа входять перший відеопідсилювач ВП1, проекційна електронно-променева трубка ПЕПТ, об'єтив О, за яким встановлено досліджуваний мікрооб'єкт МО, фотоелектронний помножувач ФЕП, другий відеопідсилювач ВП2, формувач сигналу розгортки по координаті Х ФСРХ, перетворювач напруга-струм по координаті Х ПНСХ, котушки відхилення по координаті Х КВХ, формувач сигналу розгортки по координаті Y ФСРУ, перетворювач напруга-струм по координаті Y ПНСУ, котушки відхилення по координаті Y КВУ, тактовий генератор ТГ, формувач імпульсів гасіння ФІГ, компаратор К, блок визначення координат БВК, блок пам'яті БП, блок обчислення віддалі БОВ, блок обчислення часу БОЧ та блок обчислення швидкості БОШ.

Сканувальний оптичний мікроскоп працює так. На екрані проекційної електронно-променевої трубки ПЕПТ формується повноформатний растр з максимальною кількістю елементів розкладу зображення. При цьому тактовий генератор ТГ формує на першому виході імпульси, період яких дорівнює тривалості виводу одного елемента розкладу зображення на прямому ході розгортки. Ця тривалість складається з часу переміщення сканувальної плями з одного положення в інше та часу фіксованого положення, під час якого пляма світиться. На другому виході тактового генератора формуються імпульси гасіння, тривалість яких дорівнює тривалості переміщення сканувальної плями.

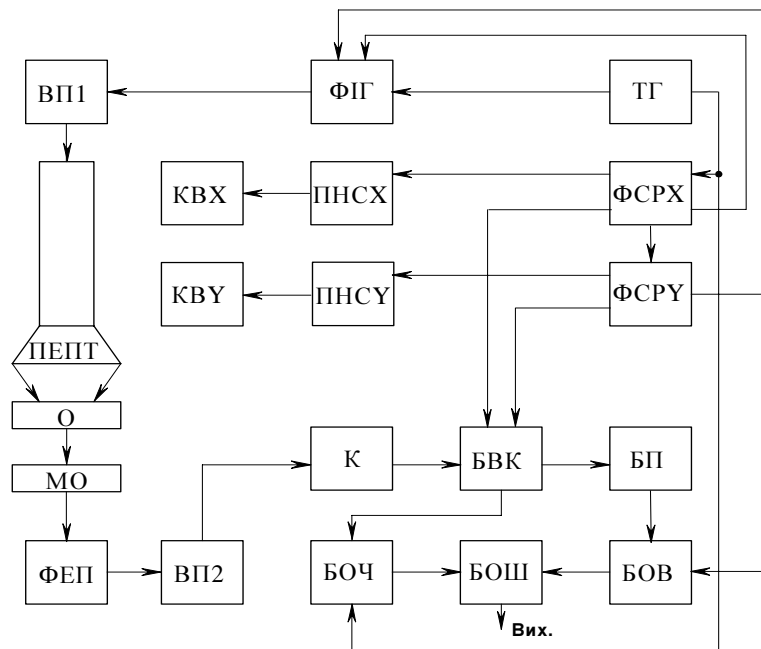


Рис. 2. Сканувальний оптичний мікроскоп для вимірювання швидкості руху досліджуваного МО, який рухається прямолінійно та з постійною швидкістю

Формувач сигналу розгортки по координаті Х ФСРХ формує на першому виході сходячо-наростаючу напругу, яка відповідає відхиленню сканувальної плями по рядку, на другому виході – паралельний двійковий код, який відповідає миттєвому значенню положення сканувальної плями в рядку, на третьому виході – імпульс закінчення розгортки по координаті Х і початку зворотного ходу по рядку, на четвертому виході – імпульс гасіння сканувальної плями під час зворотного ходу по рядку. Перетворювач напруга-струм по координаті Х ПНСХ формує з великою точністю струм в котушках відхилення по координаті Х КВХ, який відповідає сходячо-наростаючому сигналу на першому виході формувача сигналу розгортки по координаті Х. Формувач сигналу розгортки по координаті Y ФСРУ формує на першому виході сходячо-наростаючу напругу, яка відповідає відхиленню сканувальної плями по кадру, на другому виході – паралельний двійковий код, який відповідає миттєвому значенню положення сканувальної плями по кадру, на третьому виході – імпульс гасіння сканувальної плями під час зворотного ходу по

кадру. Перетворювач напруга-струм по координаті Y ПНСУ формує з великою точністю струм в котушках відхилення по координаті Y КВУ, який відповідає сходинок-наростаючому сигналу на першому виході формувача сигналу розгортки по координаті Y . На виході формувача імпульсів гасіння ФІГ формується імпульс, тривалість якого дорівнює тривалості найтривалішого перехідного процесу під час переміщення сканувальної плями по екрану проекційної електронно-променевої трубки ПЕПТ. Перший відеопідсилювач ВП1 сумує імпульси гасіння з постійним зміщенням, підсилює їх, після чого вони подаються на керуючий електрод проекційної електронно-променевої трубки ПЕПТ, забезпечуючи необхідну яскравість свічення екрана трубки. Світний сигнал з екрана проекційної електронно-променевої трубки через об'єktiv мікроскопа O проектується на досліджуваний мікрооб'єкт MO . Сигнал від досліджуваного мікрооб'єкта MO поступає на вхід фотоелектронного помножувача ФЕП, на виході якого формується електричний сигнал, миттєве значення якого пропорційне до кількості світла, яке поступає від досліджуваного мікрооб'єкта MO . Цей сигнал підсилюється до нормованої величини другим відеопідсилювачем ВП2 і подається на вхід компаратора K . Якщо рівень вихідного сигналу другого відеопідсилювача перевищує рівень спрацьовування компаратора, то на його виході з'явиться імпульс, який відповідає появі MO в площині сканування. Цей сигнал подається на третій вхід блока визначення координат БВК і фіксує миттєві значення координат досліджуваного MO , які подаються на перший та другий входи блока визначення координат БВК. Блок визначення координат обчислює координати центра досліджуваного MO і подає команду запису по першому виходу їх в блок пам'яті БП та по другому виходу команду на другий вхід блока обчислення часу БОЧ. Блок обчислення часу визначає час між двома появами координат центра досліджуваного мікрооб'єкта в двох послідовних кадрах сканування і у вигляді паралельного двійкового коду подає його на другий вхід блока обчислення швидкості БОШ. Блок обчислення віддалі БОВ за командою з блока формувача сигналу розгортки по координаті Y вибирає з блока пам'яті координати блока визначення координат двох послідовних значень кодів місцезнаходження центра досліджуваного MO і визначає віддаль, на яку він перемістився. Обчислена віддаль у вигляді паралельного двійкового коду поступає на блок обчислення швидкості БОШ, який і визначає миттєве значення швидкості руху MO між двома скануваннями повноформатним растром. Значення цієї швидкості подається на вихід сканувального оптичного мікроскопа у вигляді паралельного двійкового коду, який надалі використовується для необхідного оброблення під час визначення параметрів руху досліджуваного MO .

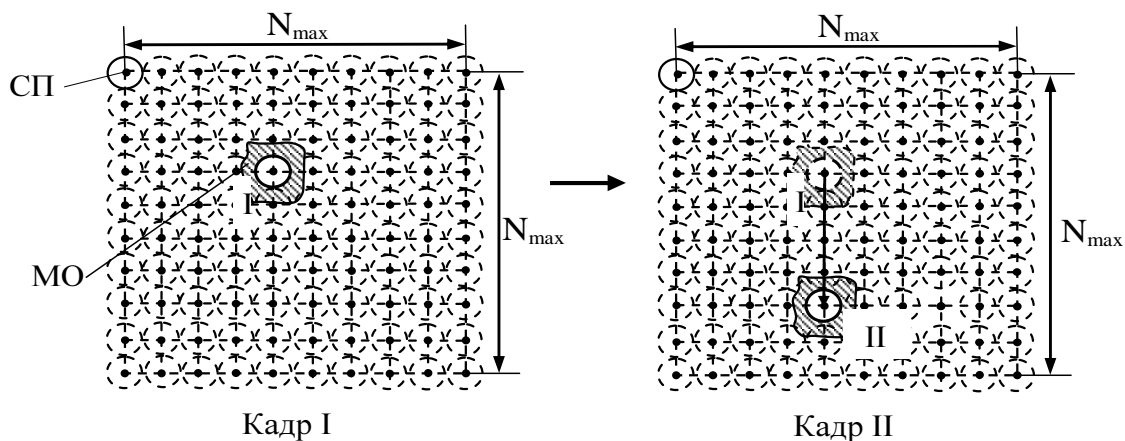


Рис. 3. Графічне зображення двох послідовних в часі повноформатних сканувальних растрів

Графічне зображення двох сканувальних растрів, які складаються з N_{max} елементів розкладу зображення по кожній координаті та положення на них центра MO за послідовного сканування показано на рис. 3.

За руху досліджуваного MO з постійною швидкістю і прямолінійно інформацію про швидкість руху під час сканування двома повноформатними растрами можна отримати, якщо MO

перемістився на віддаль, яка не перевищує половини розміру повноформатного сканувального растра в площині дослідження по будь-якій координаті. Лише в цьому випадку МО не вийде за межі сканувального растра за умови, що під час першого сканування він знаходився в центрі растра. Якщо повноформатний растр складається з 1024×1024 елементів розкладу зображення, розмір сканувального растра в площині досліджуваного мікрооб'єкта $1,024 \times 1,024 \text{ мм}^2$ (крок розгортки в площині мікрооб'єкта 1 мкм), час виводу одного елемента сканувального растра 1 мкс , час зворотного ходу по будь-якій координаті не перевищує 50 мкс , то максимальна швидкість руху МО, яку можна визначити двома послідовними сканувальними повноформатними растрами, розраховується за формулою

$$V_{\text{МОmax}} = \frac{0.5 \cdot L_P}{1.5 \cdot T_K} \approx 310 \text{ мкм/с}, \quad (4)$$

де L_P – розмір сканувального растра, $L_P = 1,024 \text{ мм}$; T_K – період кадрової розгортки, $T_K = t_c N_{\text{max}}^2 + N_{\text{max}} t_{\text{ЗХР}} + t_{\text{ЗХК}} = 1,1 \text{ с}$ (тут враховано, що час переміщення в сусідню адресовану точку $t_c = 1 \text{ мкс}$, а час зворотного ходу по рядку $t_{\text{ЗХР}}$ та кадру $t_{\text{ЗХК}}$ не перевищує 50 мкс). Коефіцієнти 0.5 та 1.5 враховують ситуацію, коли МО рухається вздовж напрямку кадрової розгортки і протягом двох вимірювань координат переміщається на віддаль, що дорівнює половині розміру кадру. Вона є найбільш критичною з точки зору вимірювання швидкості, оскільки в цьому напрямі формування растра до виявлення МО відбувається значно довше, ніж в напрямку формування рядка сканування, тому діапазон вимірюваної швидкості в цьому випадку є найменшим.

Мінімальна швидкість, яку можна вимірювати під час переміщення МО вздовж кадру в сусідню адресовану точку, становитиме

$$V_{\text{МОКmin}} = \frac{d}{T_K} \approx 1 \text{ мкм/с}. \quad (5)$$

2. Телевізійний сканувальний оптичний мікроскоп для вимірювання швидкості руху досліджуваного МО, який рухається непрямолінійно та зі змінною швидкістю

Структурну схему такого мікроскопа подано на рис. 4. Порівняно зі сканувальним оптичним мікроскопом, структурну схему якого показано на рис. 2, в нього додатково введено блок формування мінірастра [4]. Принцип роботи такого мікроскопа полягає в тому, що перше сканування здійснюється повноформатним растром, а усі наступні сканування – мінірастором, розміри якого є значно меншими, що відповідно зменшує час формування одного мінірастра і збільшує величину швидкості руху МО, яку можна виміряти. При цьому центр першого формованого мінірастра збігається з центром досліджуваного МО під час першого повноформатного сканування, а центр кожного наступного мінірастра збігається з центром досліджуваного МО під час його попереднього сканування.

На першому виході блока формування мінірастра формується код початку розгортки по координаті X, на другому виході – код кінця розгортки по координаті X, на третьому виході – код початку розгортки по координаті Y, на четвертому виході – код кінця розгортки по координаті Y. Ці коди використовуються для формування сигналів розгортки формувачами ФСРХ та ФСРУ. Отже, кожний наступний сканувальний растр, крім першого, має малі розміри, які визначаються кодами, що поступають з блока формування мінірастра. Збіг коду центра мінірастра з кодом центра досліджуваного МО під час попереднього сканування дає змогу відслідковувати також зміну положення МО. Графічне зображення двох послідовних у часі повноформатного растра та мінірастра показано на рис. 5.

Значно менші розміри мінірастра порівняно з розмірами повноформатного растра дають змогу визначити миттєве значення швидкості руху досліджуваного МО, який рухається із достатньо великою швидкістю. Якщо, наприклад, повноформатний растр складається з 1024×1024 елементів розкладу зображення, то використання мінірастра, який складається з 128×128 елементів розкладу

зображення, дасть змогу виміряти швидкість руху досліджуваного МО, яка в 64 рази перевищує виміряну швидкість під час сканування двома повноформатними растрами:

$$V_C' = \frac{N_P \times N_K}{N'_P \times N'_K} \cdot V_C = \frac{1024 \times 1024}{128 \times 128} \cdot V_C = 64 \cdot V_C \text{ мкм/с}, \quad (6)$$

де V_C , V_C' – швидкості сканування в повноформатному та мінірастрі відповідно; N_P , N_K – кількість елементів розкладу зображення по рядку та кадру повноформатного растра відповідно; N'_P , N'_K – кількість елементів розкладу зображення по рядку та кадру мінірастра відповідно.

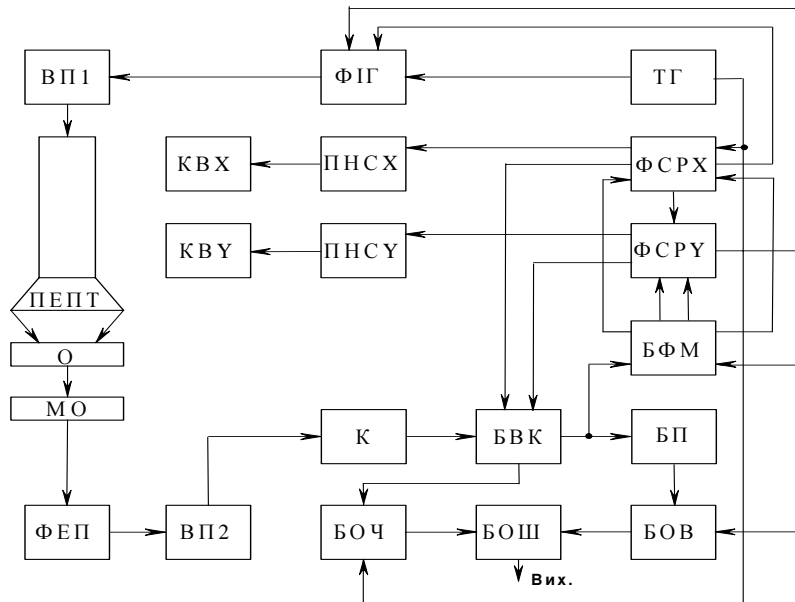


Рис. 4. Сканувальний оптичний мікроскоп для вимірювання швидкості руху досліджуваного МО, який рухається непрямолінійно та зі змінною швидкістю

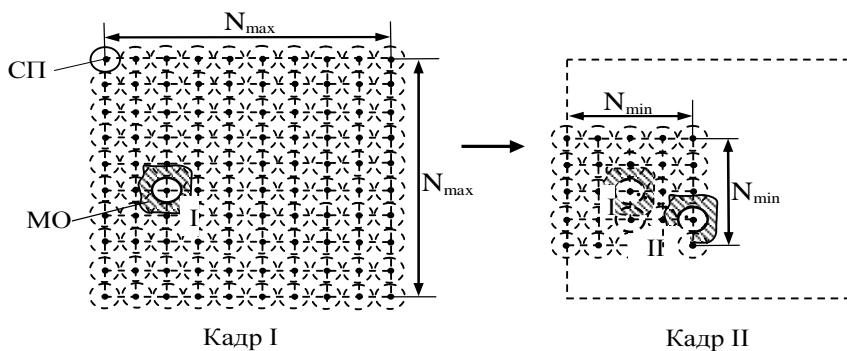


Рис. 5. Графічне зображення двох послідовних у часі повноформатного растра та мінірастра

Необхідно зазначити, що під час руху досліджуваного МО нерівномірно і непрямолінійно для кожного визначення швидкості вона повинна бути такою, щоб МО між двома послідовними скануваннями мінірастрами перемістився на віддаль, яка відповідає переміщенню в сусідню адресовану точку по будь-якій координаті.

3. Телевізійний сканувальний оптичний мікроскоп для вимірювання швидкості руху досліджуваного МО, який рухається непрямолінійно та з великою змінною швидкістю

Зменшити час формування першого повноформатного сканувального растра можна, зменшивши максимальну кількість розкладу елементів зображення за рахунок відповідного збільшення розмірів сканувальної плями. Після виявлення динамічного МО у подальші сканування здійснюються мінірастром, центр якого збігається з центром досліджуваного МО під час його

попереднього сканування [5]. Структурну схему сканувального оптичного мікроскопа, який формує перший сканувальний растр зі зменшеною роздільною здатністю, показано на рис. 6.

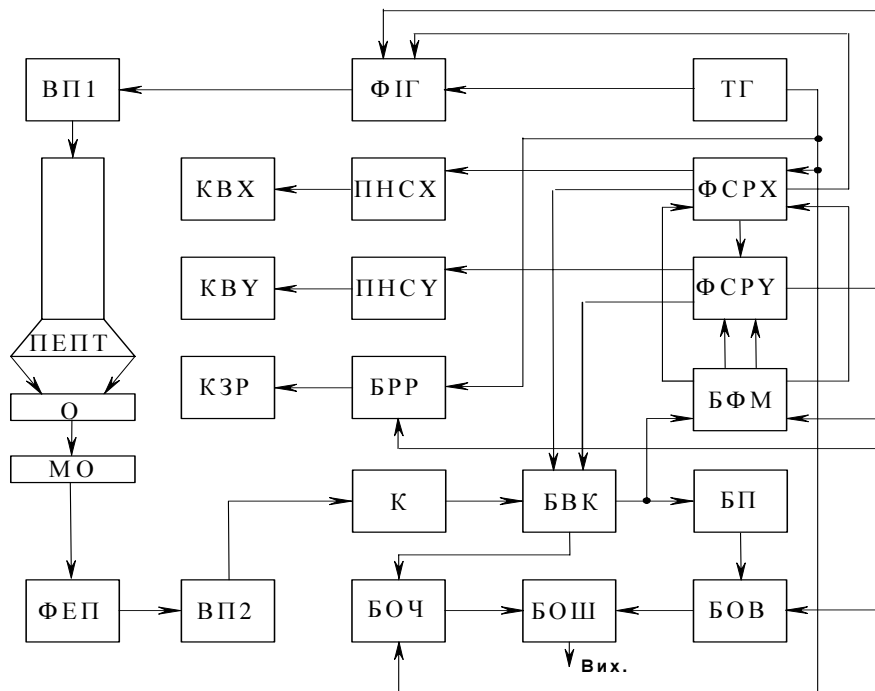


Рис. 6. Сканувальний оптичний мікроскоп зі зменшенням роздільної здатності під час формування першого повноформатного растра

Графічне зображення двох послідовних в часі повноформатного растра зі зменшеною роздільною здатністю та мінірастра показано на рис. 7.

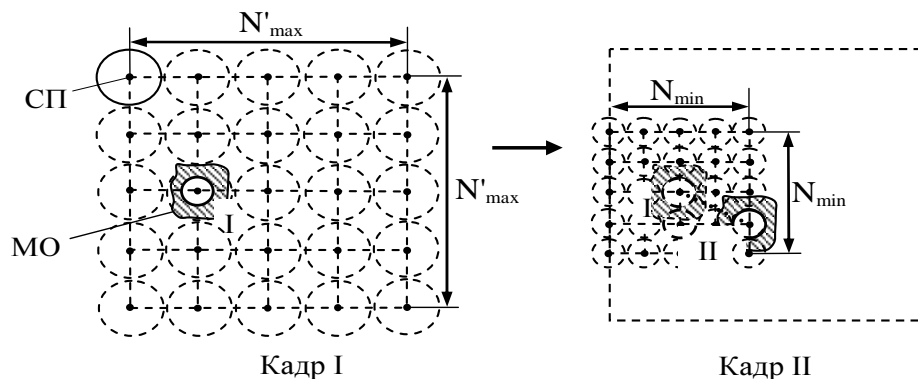


Рис. 7. Графічне зображення двох послідовних у часі повноформатного растра зі зменшеною роздільною здатністю та мінірастра

Такий сканувальний оптичний мікроскоп працює так. Під час першого сканування досліджуваного мікрооб'єкта на екрані проекційної електронно-променевої трубки формується повноформатний растр з кроком розгортки, кратно збільшеним стосовно мінімального, і відповідним збільшенням розміру сканувальної плями. Менша кількість кроків сканування у першому повноформатному растрі дає змогу зменшити час сканування і відповідно виявити досліджувані МО, які рухаються з більшою швидкістю. Кожне наступне сканування досліджуваного МО здійснюється мінірастром з максимальною роздільною здатністю, тобто сканувальна пляма має мінімально можливий розмір. Це дає змогу виміряти швидкість руху досліджуваних МО, які рухаються з великою змінною швидкістю, і непрямо лінійно – з великою точністю. Для

забезпечення зміни розміру сканувальної плями в мікроскоп додатково введені блок регулювання розміру сканувальної плями БРР та котушка зміни розміру сканувальної плями КЗР.

Якщо повноформатний растр максимальної роздільної здатності складається з 1024×1024 елементів розкладу зображення, а повноформатний растр із збільшеним діаметром сканувальної плями і зменшеним кроком сканування з 256×256 елементів розкладу зображення, то він дає змогу виявити досліджувані МО, які рухаються зі швидкістю, яка в 16 разів перевищує швидкість руху мікрооб'єкта під час першого сканування повноформатним растром максимальної роздільної здатності. Використання мінірастра, який складається з 64×64 елементів максимальної роздільної здатності, дасть змогу досліджувати МО, які рухаються зі швидкістю, яка в 256 разів перевищує швидкість об'єкта, який сканується повноформатним растром максимальної роздільної здатності, і в 16 разів – під час сканування повноформатним растром зменшеної роздільної здатності. Перше сканування досліджуваного МО здійснюється повноформатним растром зі збільшеним кроком сканування і відповідно збільшеним діаметром сканувальної плями. Це дає змогу виявити мікрооб'єкти, які рухаються з більшою швидкістю порівняно з режимом, коли перше сканування здійснюється повноформатним растром з мінімальним кроком сканування.

Найбільш ефективним під час вимірювання може бути використання такого режиму роботи телевізійного сканувального оптичного мікроскопа, коли при виявленні координат центра досліджуваного МО подальше формування повноформатного растра припиняється і під час наступного сканування формується мінірастр, центр якого збігається з центром виявленого МО [6]. При виявленні МО під час сканування мінірастром його подальше формування також припиняється, і починається формування наступного мінірастра. Структурну схему сканувального оптичного мікроскопа, який реалізує таке технічне рішення, показано на рис. 8.

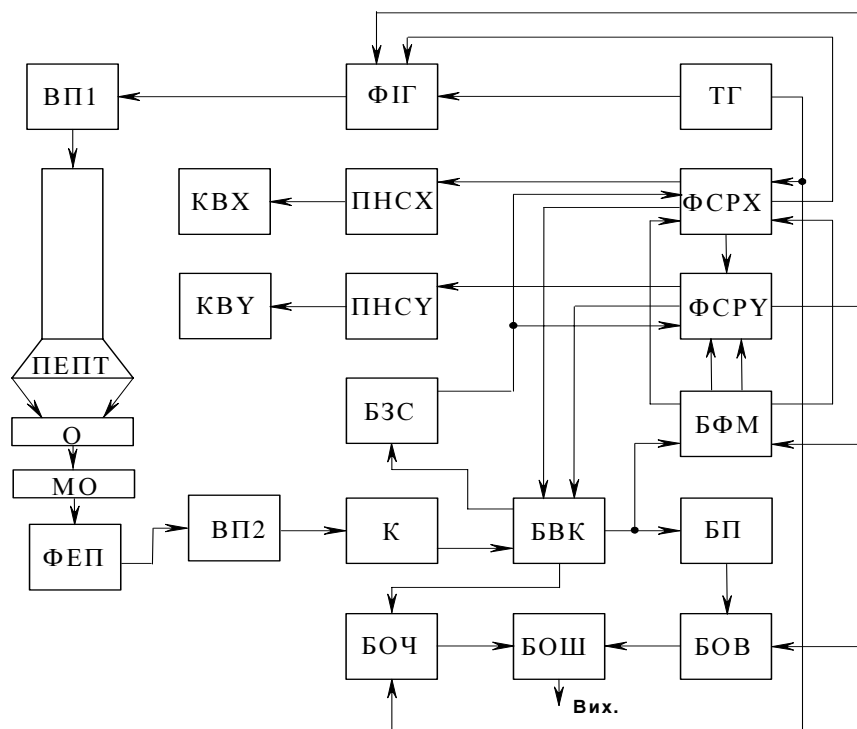


Рис. 8. Сканувальний оптичний мікроскоп з використанням зупинки формування сканувального растра

Графічне зображення двох послідовних в часі повноформатного растра та мінірастра із припиненням сканування після виявлення МО показано на рис. 9. Для цього в сканувальний оптичний мікроскоп додатково введено блок зупинки сканування БЗС. Цей блок спрацьовує по команді, яка поступає з блока визначення координат БВК після визначення координат центра МО, і формує на своєму виході імпульси, які припиняють подальше формування сканувального растра по обох

координатах. Гранична швидкість, яку можна визначити в такому режимі, буде максимально можливою і визначатиметься насамперед кількістю елементів розкладу зображення в мінірастрі, які були використані під час його формування. Припинення сканування досліджуваного МО після визначення координат його центра зменшує час, необхідний для проведення вимірів. Це дасть змогу максимально збільшити діапазон вимірювання швидкості руху досліджуваного МО, який рухається з великою змінною швидкістю і непрямолінійно.

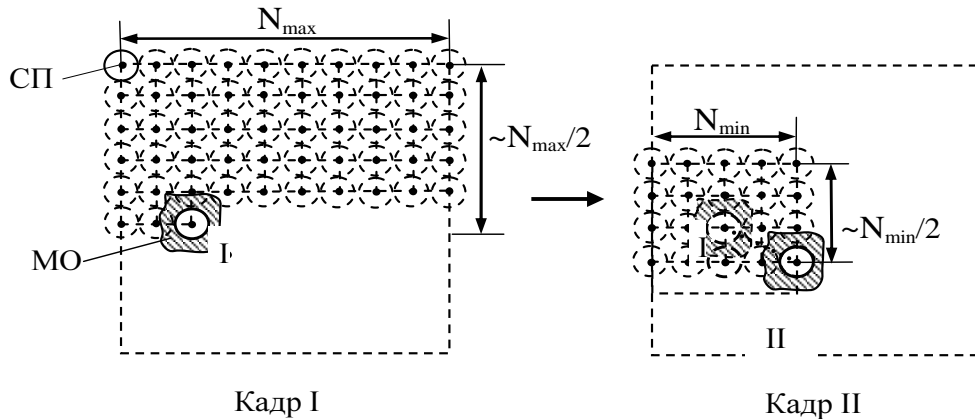


Рис. 9. Графічне зображення двох послідовних у часі повноформатного растра та мінірастра із зупинкою формування після знаходження координат досліджуваного МО

Висновки

Запропоновані способи формування сканувального растра в телевізійному сканувальному оптичному мікроскопі шляхом використання під час повторного сканування мінірастра, центр якого збігається з центром досліджуваного МО під час попереднього сканування, а також припинення формування сканувального растра при виявленні досліджуваного МО уможливить значно розширити діапазон вимірювання швидкостей руху динамічних МО за збереження точності вимірювання.

1. Shkliarskyi V., Matiieshyn Y. Measurement of the microobject velocity in the microscope frame mode. Proceedings of the International Conference TCSET'2008 "Modern Problems of Radio Engineering Telecommunications and Computers Science". – Lviv-Slavsko, Ukraine, February 19 – 23, 2008. – P.239–241.
2. Скануючий оптичний мікроскоп. Пат. 50162А Україна: G06F 3/153, H04N 5/00 / З.Д. Грицьків, А.Д. Педан, Г.О. Туркінов, В.І. Шклярський. – №2001107359; Заявл. 29.10.01; – Опубл. 15.10.02. Бюл. №10.
3. Скануючий оптичний мікроскоп. Пат. 30341 Україна: МПК G06F 3/153, H04N 5/00 / Ю.М. Матієшин, І.Н. Прудіус, Г.О. Туркінов, В.І. Шклярський. – № u2007 11461; Заявл. 16.10.2007; Опубл. 25.02.2008. Бюл. №4.
4. Скануючий оптичний мікроскоп. Пат. 30344 Україна: МПК G06F 3/153, H04N 5/00 / В.М. Гой, Ю.М. Матієшин, А.Д. Педан, В.І. Шклярський. – № u2007 11480; Заявл. 16.10.2007; Опубл. 25.02.2008. Бюл. №4.
5. Скануючий оптичний мікроскоп. Пат. 30345 Україна: МПК G06F 3/153, H04N 5/00 / Б.І. Любинецька, Ю.М. Матієшин, В.І. Шклярська, В.І. Шклярський. – № u2007 11481; Заявл. 16.10.2007; Опубл. 25.02.2008. Бюл. №4.
6. Скануючий оптичний мікроскоп. Пат. 30342 Україна: МПК G06F 3/153, H04N 5/00 / В.І. Шклярський, В.М. Гой, Ю.М. Матієшин, І.Н. Прудіус. – № u2007 11465; Заявл. 16.10.2007; Опубл. 25.02.2008. Бюл. №4.