

# РАДІОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ

УДК 621.397+681.723

В. І. Шклярський, В. М. Гой, Р. З. Матвійів, Ю. М. Матієшин  
Національний університет “Львівська політехніка”

## ФОРМУВАННЯ СКАНУВАЛЬНОГО РАСТРА ЗМІННИХ РОЗМІРІВ У ТЕЛЕВІЗІЙНОМУ ОПТИЧНОМУ МІКРОСКОПІ

© Шклярський В. І., Гой В. М., Матвійів Р. З., Матієшин Ю. М., 2016

Запропоновано для зміни розмірів зображення досліджуваного мікрооб’єкта використати зміну розмірів освітлювального сканувального растра. Використання електронно-променевої трубки високої роздільної здатності дасть змогу формувати збільшене зображення без втрати роздільної здатності.

Ключові слова: телевізійний оптичний мікроскоп, роздільна здатність, сканувальний растр, зміна розмірів зображення.

V. Shkliarskyi, V. Goy, R. Matviyiv, Y. Matiieshyn  
Lviv Polytechnic National University

## RESIZABLE SCANNING RASTER GENERATION IN TELEVISION OPTICAL MICROSCOPE

© Shkliarskyi V., Goy V., Matviyiv R., Matiieshyn Y., 2016

High resolution cathode-ray tube (CRT) uses in television optical microscope (TOM) for lighting of investigated microobject (MO) [1–4]. Light, which goes through investigated MO, or reflected from it, projects on photosensitive target of photoelectron multiplier (PEM). On the output of PEM is generated electrical signal. Amplitude of this signal corresponds to the light, which coming from investigated MO. This signal is used to display researched MO image on television screen or personal computer screen. Resolution of CRT allows to generate scanning raster, which can has more then 4000×4000 elements of the image. Resolution of television screen is much lower (usually, doesn’t exceed 550×720 image formation elements). This feature of TOM allows to reduce size of scanning raster. In this way, is the possibility to get enlarged image of investigated MO or his part without loss of resolution. For getting enlarged image of selected part of researched MO is used offset of reduced scanning raster. For expansion of functionality, TOM generates scanning raster in television standard and in small-frame mode. Using of personal computer allows to form scanning raster by analog or digital-analog way. Independent offset of reduced raster requires special circuit solutions. One of these solutions is using of voltage-to-current converter VCC for precision current formation in load.

The block diagram is developed for sweep signal generation unit by one coordinate. Composition of block diagram includes control unit of operation modes, generator of sawtooth voltage signal, generator of offset signal, memory unit, digital-to-analog converter of signal, commutator, regulator of sweep signal amplitude, amplifier-limiter of scanning ray deviation signal. The block diagram of sweep signal generation unit for another coordinate is the same.

Main requirements of magnetic deflection system is defined. Shown, that main design parameters of magnetic deflection system, which influence on parameters of TOM is inductance of deflection coils, own resonance frequency, active resistance, maximum current, that is needed for deflection of light scanning ray to the outer point of raster.

Been analyzed requirements for voltage-to-current converter, which should provide strong precision of input signals to current in load converting, stability of current value, and high performance. They execute by scheme of direct current amplifier using direct current amplifier with deep negative feedback by current. Signal of negative feedback is formed on precision resistance, which is switched consistently with inductive load. All of the above requirements should be performed with minimal intake power. Shown charts of parameters of voltage-to-current converter from design parameters which using in deflection coils of magnetic deflection system.

Been defined minimum supply voltage of voltage-to-current converter, which is used for magnetic deflection system power with different design parameters. Also, shown, that using deflection coils with small inductivity needs less voltages of power supply, but leads to an increase of average power consumption. Defined main dynamic parameters of voltage-to-current converter using magnetic deflection system with different design parameters for scanning raster formation.

**Key words:** television optical microscope, resolution, scanning raster, image resizing.

### **Вступ**

У телевізійному оптичному мікроскопі (ТОМ) для освітлення досліджуваного мікрооб'єкта (МО) використовується електронно-променева трубка (ЕПТ) високої роздільної здатності [1–4]. Світло, яке пройшло через досліджуваний МО або відбилося від нього, проектується на світлочутливу мішень фотоелектронного помножувача (ФЕП). На виході ФЕП формується електричний сигнал. Амплітуда сигналу відповідає світлу, яке надходить від досліджуваного МО. Цей сигнал використовується для формування зображення досліджуваного МО на екрані телевізійного монітора або монітора персонального комп'ютера. Роздільна здатність ЕПТ дає змогу формувати сканувальний растр, який може мати понад 4000×4000 елементів розкладу зображення. Роздільна здатність телевізійного монітора небагато нижча (як правило, не перевищує 550×720 елементів розкладу зображення). Така особливість ТОМ дає змогу зменшити розмір сканувального растра. За рахунок цього можна отримати збільшене зображення досліджуваного МО або його фрагмента без втрати роздільної здатності. Використовуючи зміщення зменшеного растра, можна отримати збільшене зображення вибраного фрагмента досліджуваного МО. Для розширення функціональних можливостей ТОМ формує сканувальний растр у телевізійному стандарті та в малокадровому режимі. Застосування персонального комп'ютера дає змогу формувати сканувальний растр аналоговим або цифро-аналоговим способом. Незалежне зміщення зменшеного растра потребує спеціальних схемотехнічних рішень. Одним з таких рішень є використання перетворювача напруга–струм для прецизійного формування струму в навантаженні.

### **Формування сигналу розгортки сканувального растра**

Структурна схема блока формування сигналу розгортки по координаті X наведена на рис. 1. До складу структурної схеми входять блок керування режимами роботи БКРР, генератор сигналу пилкоподібної напруги за координатою X ГПНХ, формувач сигналу зміщення за координатою X ФЗСХ, блок пам'яті БП, цифро-аналоговий перетворювач сигналу за координатою X ЦАПХ, комутатор К, регулятор амплітуди сигналу розгортки РА, підсилювач – обмежувач сигналу відхилення сканувального променя за координатою X ПОХ.

На виходах блока керування режимами роботи БКРР є такі сигнали:

- 1) чотирирозрядний паралельний двійковий код для керування зміною амплітуди сигналу відхилення за координатою СВХ (передбачено 16 рівнів амплітуди вихідного сигналу, які дають змогу масштабувати зображення в 10 разів);
- 2) восьмирозрядний паралельний двійковий код для керування зміщенням за координатою X;
- 3) логічний рівень для керування роботою комутатора К;
- 4) логічні імпульси, тривалість яких дорівнює тривалості зворотного ходу розгортки за координатою X, а період – періоду тривалості рядкової розгортки;
- 5) дванадцятирозрядний паралельний двійковий код для формування сигналу відхилення сканувального променя за координатою X, який записується у блок проміжної пам'яті БП.

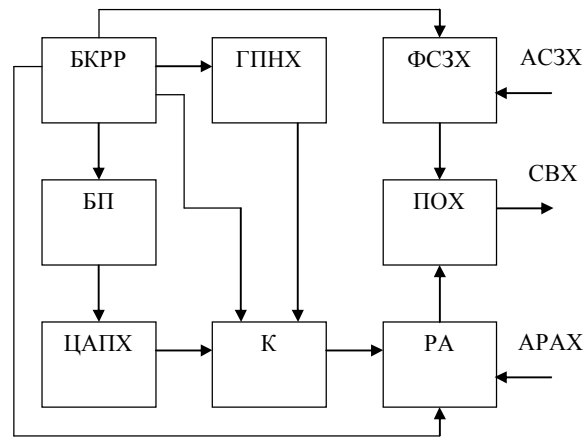


Рис. 1. Структурна схема блока формування сигналу розгортки за координатою X

Генератор пилкоподібної напруги ГПНХ формує пилкоподібний сигнал, період якого дорівнює періоду рядкової розгортки, тривалість зворотного ходу дорівнює тривалості імпульсу, який надходить з блока керування режимами роботи БКРР, а амплітуда сигналу дорівнює амплітуді сигналу на виході цифро-аналогового перетворювача ЦАПХ. ЦАПХ формує сигнал розгортки у разі дискретного її формування. Кількість сходинок сигналу розгортки може змінюватися у межах від 128 до 4096 залежно від вибраного режиму роботи. Комутатор К підключає до свого виходу аналоговий сигнал рядкової розгортки згідно з керуючим сигналом з боку керування режимами роботи БКРР. Регулятор амплітуди РА змінює амплітуду сигналу рядкової розгортки відповідно до коду блока керування режимами роботи БКРР або аналогового сигналу регулювання амплітуди АРАХ. Формувач сигналу зміщення формує на своєму виході сигнал, пропорційний до коду зміщення, який надходить з блока керування режимами роботи БКРР, або аналогового сигналу зміщення за координатою X АСЗХ. Підсилювач-обмежувач ПОХ підсумовує обидва сигнали розгортки на рівні, який на 5 % перевищує рівень сигналу, необхідний для відхилення променя на край сканувального растра, і формує на своєму виході повний сигнал відхилення СВХ. Таке обмеження значно зменшує потужність споживання вихідними каскадами перетворювача напруга-струм, який використовується для прецизійного формування струму в котушках відхилення магнітної відхилювальної системи.

Необхідно зазначити, що структурна схема блока формування сигналу розгортки за координатою Y є ідентичною.

Часові діаграми роботи ТОМ у режимі регулювання амплітуди сигналу сканувального растра показано на рис. 2, а в режимі регулювання зміщення – на рис. 3. Часові діаграми наведено для випадку управління двома старшими розрядами паралельного двійкового коду.

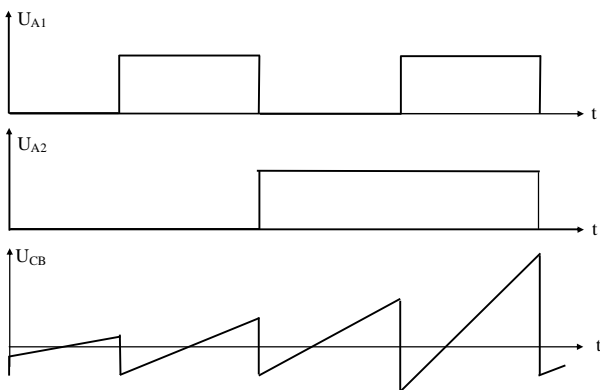


Рис. 2. Часові діаграми роботи ТОМ у режимі регулювання амплітуди сигналу сканувального растра

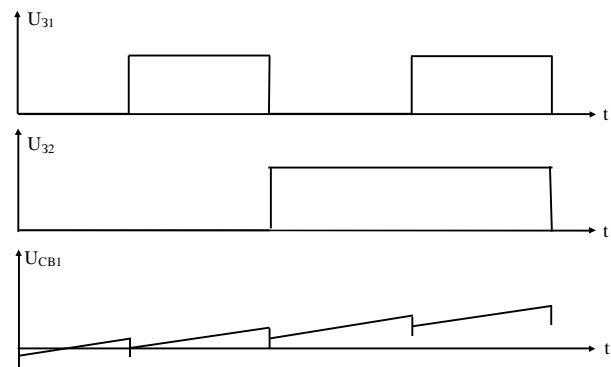


Рис. 3. Часові діаграми роботи ТОМ у режимі регулювання зміщення сканувального растра

### Аналіз вимог до магнітної відхилювальної системи

Для ТОМ планується використовувати ЕПТ високої роздільної здатності з такими параметрами: 1) максимальний кут відхилення променя  $30^\circ$ ; 2) розмір робочої частини екрана – коло діаметром 30 мм; 3) мінімальний розмір світної плями – 10 мкм; 4) відхилення променя – електромагнітне.

Основними конструктивними параметрами магнітної відхилювальної системи, які впливають на параметри ТОМ, є індуктивність котушок відхилення  $L_K$ , власна резонансна частота  $F_R$ , активний опір  $R_K$ , максимальний струм, необхідний для відхилення світного сканувального променя у крайню точку растра  $I_K$ . Конструктивно котушки індуктивності виконано зі спеціальним розподілом витків для забезпечення мінімальних геометричних спотворень і максимальної роздільної здатності. Мінімум досяжна величина індуктивності визначається відповідним розподілом витків. Максимальна величина індуктивності котушки відхилення також визначається її конструктивними параметрами, які забезпечують необхідну швидкодію у разі відхилення променя в точку із заданими координатами. Збільшення індуктивності котушки відхилення здійснюється двома способами: 1) зміною паралельного ввімкнення обмоток котушки відхилення на послідовне; 2) пропорційним збільшенням кількості витків. Збільшення кількості витків обмотки призводить до збільшення власної ємності і, відповідно, до зниження власної резонансної частоти  $F_R$ , яка визначає максимальну можливу швидкодію встановлення струму під час переміщення променя у сусідню адресовану точку. Оскільки ТОМ формує зображення досліджуваного МО і у телевізійному стандарті, і в дискретному режимі, доцільно використати для формування сканувального растра магнітну відхилювальну систему з ідентичними котушками відхилення. Основні параметри котушок відхилювальної системи наведено в табл. 1.

Таблиця 1

### Основні параметри обмоток магнітної відхилювальної системи

№	$L_K$ , мГн	$R_K$ , Ом	$F_R$ , МГц	$I_K$ , А
1	0,10	1,00	2,20	1,60
2	0,40	2,00	1,50	0,80
3	1,00	4,00	1,20	0,50
4	4,00	8,00	0,80	0,25
5	10,0	10,0	0,55	0,16

### Аналіз вимог до перетворювача напруга–струм

ПНС повинні забезпечувати велику точність перетворення вхідних сигналів на струм навантаження, стабільність величини струму і велику швидкодію. Вони виконуються за схемою підсилювача постійного струму із застосуванням глибокого від'ємного зворотного зв'язку за струмом. Сигнал зворотного зв'язку формується на прецизійному резисторі, ввімкненому послідовно з індуктивним навантаженням. Крім цього, всі вищезгадані вимоги повинні виконуватися за мінімальної споживаної потужності, тобто пристрої повинні бути економічними.

Напруга живлення вихідних каскадів ПНС визначатиметься напругою, яку треба прикласти до індуктивного навантаження в режимі телевізійного стандарту. Для забезпечення зворотного ходу рядкової розгортки напруга живлення повинна бути не меншою за [1, 5]:

$$E_{Ж1} = 1,2 \cdot \frac{2 \cdot L_K \cdot I_K}{t_{3X}} + U_{33} + I_K \cdot R_K, \quad (1)$$

а для забезпечення прямого ходу рядкової розгортки:

$$E_{Ж2} = 1,2 \cdot \frac{2 \cdot L_K \cdot I_K}{t_{ПХ}} + U_{33} + I_K \cdot R_K, \quad (2)$$

де  $t_{3X}$  – тривалість зворотного ходу рядкової розгортки,  $t_{3X} = 12$  мкс;  $t_{ПХ}$  – тривалість прямого ходу рядкової розгортки,  $t_{ПХ} = 52$  мкс;  $U_{33}$  – напруга сигналу від'ємного зворотного зв'язку  $U_{33} = 5$  В;

$L_K$  – індуктивність використовуваних котушок відхилення;  $I_K$  – струм відхилення з центра на край растра;  $R_K$  – активний опір використовуваних котушок відхилення; 1, 2 – додатковий коефіцієнт, який враховує режим роботи вихідних каскадів ПНС.

Визначені мінімально необхідні напруги живлення у разі використання котушок індуктивності з різними параметрами наведено в табл. 2. З даних табл. 2 видно, що напруга  $E_{Ж1} \gg E_{Ж2}$ . Тому доцільним є використання у ПНС схем підживлення на час перехідного процесу встановлення струму в індуктивному навантаженні у разі його великої зміни, зокрема на час зворотного ходу. Потужність, яка споживається від першого джерела живлення в телевізійному режимі, визначимо згідно з виразом

$$P_{O1} = 0,25 \cdot I_K \cdot E_{Ж1} \cdot t_{3X} / T_P, \quad (3)$$

де  $T_P$  – період рядкової розгортки в телевізійному режимі,  $T_P = 64$  мкс.

Потужність, яка споживається від другого джерела живлення в телевізійному режимі, визначимо за виразом

$$P_{O2} = 0,25 \cdot I_K \cdot E_{Ж1} \cdot t_{ПХ} / T_P. \quad (4)$$

Потужність, яка споживається від другого джерела живлення в режимі максимального зміщення зменшеного растра, визначимо так

$$P_{OЗМ} = I_K \cdot E_{Ж1}. \quad (5)$$

Розраховані значення споживаних потужностей наведено в табл. 2. З розрахунків видно, що споживана потужність зростає практично в п'ять разів. Цей фактор обов'язково необхідно враховувати під час проектування вихідних каскадів ПНС, оскільки значна частина цієї потужності розсіюватиметься на транзисторах вихідного каскаду.

Таблиця 2

**Параметри живлення та споживаної потужності вихідними каскадами ПНС**

	$E_{Ж1},$ В	$E_{Ж2},$ В	$P_{O1},$ Вт	$P_{O2},$ Вт	$P_{OЗМ},$ Вт
1	33,2	12,8	2,45	4,16	20,5
2	60,0	18,9	3,15	3,08	15,2
3	90,3	26,2	2,12	2,67	13,1
4	174	45,5	2,04	2,32	11,4
5	273	68,2	2,05	2,21	10,0

Графічні залежності напруг живлення вихідного каскаду ПНС від індуктивності використовуваних котушок відхилення наведено на рис. 4, а споживаних потужностей живлення – на рис. 5.

Одним з важливих параметрів ПНС у динамічному режимі є необхідний коефіцієнт підсилення за напругою, який він повинен мати в ділянці верхніх частот (як правило, на резонансній частоті використовуваних котушок відхилення  $f_k$  значення власної резонансної частоти у межах 0,65–3,2 мГц, залежно від власної індуктивності котушок відхилення та їх конструктивного виконання). Його значення знайдемо з виразу [1, 3]

$$K_U = 2\pi \cdot F_K \cdot L_K \cdot I_K / U_{33}. \quad (6)$$

Необхідний нормований коефіцієнт підсилення за напругою на фіксованій частоті 500 кГц  $K_{UH}$  розраховано відповідно до виразу (6). Він дасть змогу оптимізувати вибір котушок відхилення під час проектування ПНС. Це стосуватиметься насамперед забезпечення стійкості у всьому частотному та динамічному діапазоні. Важливе значення матиме час встановлення струму в індуктивному навантаженні для випадку, коли сканувальний промінь буде переміщуватися в сусідню адресовану точку. Цей час визначимо згідно з виразом [1]

$$t_C \approx 1 / 2\pi \cdot F_K. \quad (7)$$

Розраховані параметри зведено в табл. 3.

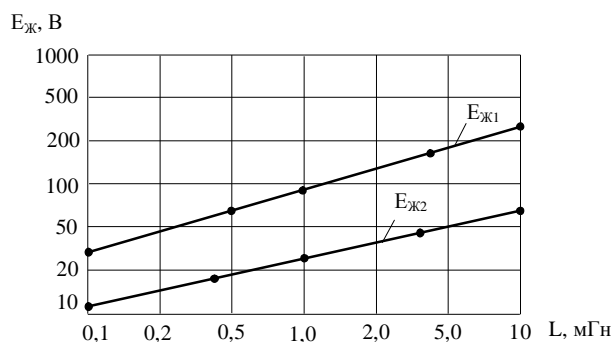


Рис. 4. Залежність напруг живлення вихідного каскаду ПНС від індуктивності використовуваних котушок відхилення

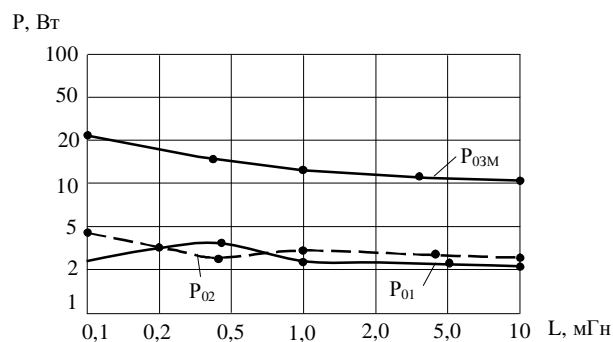


Рис. 5. Залежність споживаних потужностей від індуктивності використовуваних котушок відхилення

У разі формування сканувального растра дискретним способом промінь виводиться в точку з адресованими координатами за час  $t_C$  і після цього підсвічується за час  $t_{II}$ , який є фіксованим. Отже, здійснюється підсвічування елемента досліджуваного МО статичним джерелом освітлення, що підвищує роздільну здатність формованого зображення.

Таблиця 3

Динамічні параметри ПНС

	1	2	3	4	5
$K_U$	442	602	753	1005	1106
$K_{UH}$	105	201	314	625	914
$T_{CMKC}$	0,46	0,67	0,83	1,25	1,82

Графічні залежності необхідного коефіцієнта підсилення ПНС та часу встановлення в сусідню адресовану точку від індуктивності використовуваних котушок відхилення наведено на рис. 6 та рис. 7 відповідно.

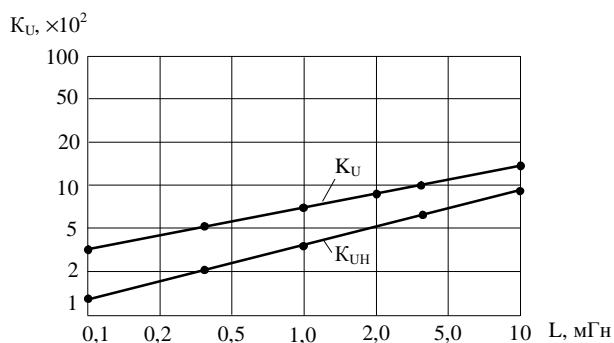


Рис. 6. Залежності необхідного коефіцієнта підсилення ПНС від індуктивності використовуваних котушок відхилення

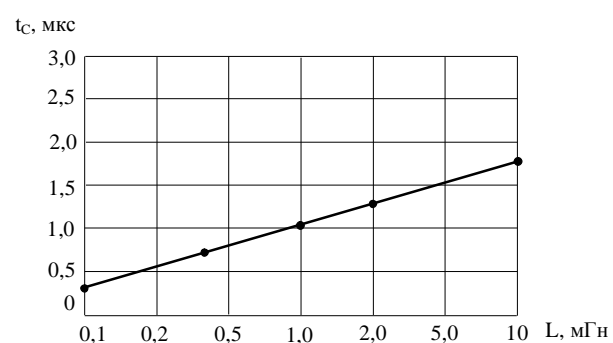


Рис. 7. Залежність часу переміщення в сусідню адресовану точку від індуктивності використовуваних котушок відхилення

Час формування одного кадру растра залежить від кількості елементів розкладу зображення  $N$  та часових параметрів зворотного ходу розгортки і визначається виразом

$$t_K \approx (t_C + t_{II}) \cdot N^2 + t_{3X} \cdot (N + 1) \quad (8)$$

Числові дані розрахунку тривалості розгортки одного кадру з різною роздільною здатністю для випадку, коли час підсвічування сканувального променя  $t_{II} = 0,5$  мкс, а тривалість зворотного ходу рядкової та кадрової розгортки  $t_{3X} = 52$  мкс наведено в табл. 4. На рис. 8 подано залежності часу формування сканувального растра за різної його роздільної здатності від індуктивності котушок відхилення.

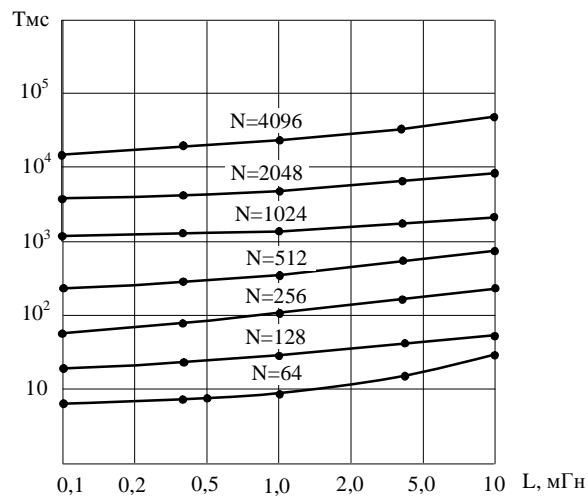
Таблиця 4

**Часові параметри формування  
одного кадру сканувального растра**

N	1 с	2 с	3 с	4 с	5 с
4096	16,3	19,9	22,5	29,6	39,1
2048	4,12	4,57	5,69	7,45	9,89
1024	1,06	1,29	1,46	1,90	2,55

N	1 мс	2 мс	3 мс	4 мс	5 мс
512	272	332	375	485	652
256	76,2	87,1	98,9	127	183
128	20,4	25,9	28,5	35,3	49,1
64	7,21	8,13	8,85	10,4	17,7



*Рис. 8. Залежності часу формування кадру  
сканувального растра за різної його роздільної здатності  
від індуктивності використовуваних котушок відхилення*

Порівняльний аналіз використання магнітних відхилювальних систем з різними конструктивними параметрами показує, що використання котушок відхилення з більшою індуктивністю призводить до збільшення часу формування одного кадру зображення і за високої роздільної здатності растра, і у разі її зменшення.

### Висновки

1. Запропонована структурна схема блока формування сигналу розгортки дасть змогу формувати сканувальний растр різних розмірів та різної роздільної здатності.
2. Наведено діапазон конструктивних параметрів обмоток магнітної відхилювальної системи, які доцільно використовувати в телевізійному оптичному мікроскопі високої роздільної здатності.
3. Визначено мінімальні напруги живлення використовуваного перетворювача напруга–струм для живлення магнітної відхилювальної системи з різними конструктивними параметрами. Показано, що використання котушок відхилення з малою індуктивністю потребує менших напруг живлення, однак призводить до збільшення середньої споживаної потужності.
4. Визначено основні динамічні параметри перетворювача напруга–струм у разі використання магнітної відхилювальної системи з різними конструктивними параметрами для формування сканувального растра.

5. Встановлено часові параметри формування одного кадру сканувального растра за різної роздільної здатності формування зображення досліджуваного мікрооб'єкта.

1. Шклярський В. І. *Сканувальна телевізійна оптична мікроскопія: теорія та практика: монографія*. Л. : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 456 с. 2. Hrytskiv Z., Shkliarskyi V. *Determination of the luminance of CRT for scanning optical microscope based on noise // Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Radioelectronics and Communication. 2001. № 428. P. 54–58.* 3. Vasylyuk V., Shkliarskyi V. *Voltage-to-current converter as a mean of current setting in a complex load // Announcer of the Lviv Polytechnic National University. 2012. № 738 : Electronics and Telecommunications. P. 48–56.* 4. *Television-computer scanning optical microscope: foretime, nowadays and the near future / Z. Hrytskiv, A. Pedan, V. Shkliarsyi // Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services TELSICS'2005: 7-th int. conf., September 28-30 2005 : proceed. of the conf. Nis, Serbia and Montenegro, 2005. P. 243–252.*

#### References

1. Shkliarskyi V. *Television scanning optical microscopy: theory and practice: a monograph / V. Shkliarskyi. – Lviv Polytechnic. – 2010. – 456 p.* 2. Hrytskiv Z. *Determination of the luminance of CRT for scanning optical microscope based on noise / Z. Hrytskiv, V. Shkliarskyi // Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Radioelectronics and Communication. № 428, 2001. – P. 54–58.* 3. Vasylyuk V. *Voltage-to-current converter as a mean of current setting in a complex load / V. Vasylyuk, V. Shkliarskyi // Announcer of the Lviv Polytechnic National University. – 2012. – № 738 : Electronics and Telecommunications. – P. 48–56.* 4. Hrytskiv Z. *Television-computer scanning optical microscope: foretime, nowadays and the near future / Z. Hrytskiv, A. Pedan, V. Shkliarsyi // Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services TELSICS'2005: 7-th int. conf., September 28–30 2005 : proceed. of the conf. – Nis, Serbia and Montenegro, 2005. – P. 243–252.*