



## МЕТОД ФОРМУВАННЯ РОЗГОРТКИ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО СКАНУВАЛЬНОГО ОПТИЧНОГО МІКРОСКОПА

В. Мінзюк

*Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна*

Відповідальний за рукопис: Вадим Мінзюк (e-mail: [vadym.v.minziuk@lpnu.ua](mailto:vadym.v.minziuk@lpnu.ua))

*(Подано 3 листопада 2022)*

В статті розглянуто цифровий метод формування розгортки телевізійного сканувального оптичного мікроскопа. У відомих методах використовують аналого-цифровий перетворювач двійкового коду в напругу, яку подають на прецизійний перетворювач “напруга–струм”. Останній фактично визначає швидкодію мікроскопа. В роботі запропоновано подавати струм у котушки відхилювальної системи від джерела постійного струму через резистивну матрицю R-2R. Двійковий код керує ключами вагових розрядів резистивної матриці і так визначає в кожен момент часу, яка частина струму джерела пройде через котушку відхилювальної системи, а яка – повз неї. При цьому сумарний струм джерела залишається незмінним.

**Ключові слова:** *телевізійний сканувальний оптичний мікроскоп, TCOM, розгортка, растр, відхилення електронного променя.*

**УДК 621.397, 681.723**

### 1. Вступ

Сканувальний телевізійний оптичний мікроскоп (СТОМ) має високу роздільну здатність. Під час експлуатації виникає потреба зосередити спостереження лише на певній ділянці растру [1, 2, 3, 7]. Тому необхідно передбачити можливість роботи в малокадровому режимі, коли використовується лише фрагмент повного растру. Як наслідок, виникає технічна задача: формувати розгортку тільки в якійсь частині повного растру, тобто формувати зменшений сканувальний растр (мінірастр). При цьому вибір фрагмента здійснюється зміщенням мінірастру в межах повного растру. Особливо гостро постає проблема швидкого позиціонування мінірастру при дослідженні динамічних об'єктів [5, 6, 9].

У разі традиційного підходу до формування телевізійного растру в котушки відхилення подають струм пилкоподібної форми. Для зміни розміру растру доведеться змінювати розмах цього струму. Крім того, для позиціонування зменшеного растру потрібно змінювати постійну складову пилкоподібного струму. Через це неможливо застосувати традиційні енергоощадні способи формування струмів розгортки у відхилювальній системі СТОМ. Тому растр СТОМ формують за допомогою генераторів сигналів відхилення [4]. Такий генератор в аналоговий спосіб чи в цифровий (за допомогою АЦП) формує пилкоподібну напругу, яку подають на прецизійний перетворювач “напруга–струм”. При цьому цифровий спосіб дає змогу більш гнучко керувати положенням світної плями на екрані електронно-променевої трубки.

## 2. Постановка проблеми і формулювання цілі статті

За цифрового керування розгорткою швидкодія СТМ першочергово залежить від перетворювача “напруга–струм” [4, 8]. Відповідно, під час проєктування цих перетворювачів виникає необхідність зменшувати максимально допустимий вихідний струм. Тоді доведеться збільшити індуктивність відхилювальної системи. Але при цьому зростає час встановлення струму в індуктивному навантаженні, що, своєю чергою, погіршує швидкодію СТМ. Крім того, необхідно перетворювати вхідну напругу у вихідний струм із високою точністю, а одержаний струм має бути стабільним.

Як правило, перетворювачі “напруга–струм” проєктують за схемою підсилювача постійного струму із глибоким від’ємним зворотним зв’язком за струмом. При роботі в широкому динамічному діапазоні, в широкій смузі частот на індуктивне навантаження пристрій може самозбуджуватися. Відповідно, необхідно подбати про його стійкість, яка залежить від постійної часу індуктивного навантаження (що є відношенням індуктивності відхилювальної системи до опору зворотного зв’язку), від коефіцієнта підсилення без зворотного зв’язку і від глибини зворотного зв’язку. Два останні параметри є частотно залежними, відповідно, вся система в кращому випадку умовно стійка.

Замість того, щоб перетворювати цифровий код у напругу, а потім напругу в струм, скористаємось технікою перетворення цифрового коду в струм. Візьмемо за основу резистивну матрицю R-2R струмового цифро-аналогового перетворювача. В якості джерела живлення оберемо джерело постійного струму. За допомогою цифрового коду будемо визначати, з яких вагових виходів матриці спрямувати струм у котушку відхилювальної системи, а з яких – повз неї. При цьому повний струм через резистивну матрицю є константою, і дорівнює струму джерела живлення. На відміну від перетворювача “напруга–струм”, що має працювати в широкому діапазоні струмів, у запропонованому методі джерело живлення має забезпечувати незмінне значення струму.

## 3. Цифровий метод формування розгортки із використанням джерела постійного струму

Запропонований принцип формування струмів розгортки реалізує схема, зображена на рис. 1. За основу взято дванадцятибітну резистивну матрицю R-2R (резистори R1 – R24). Вагові виходи матриці (резистори з парними номерами на рис. 1) комутуються електронними ключами S1 – S12, що керовані напругою цифрових рівнів. Кожен ключ може під’єднати ваговий резистор до однієї з двох шин і, відповідно, направити ваговий струм у котушку відхилювальної системи L1 чи повз неї. Отже, в кожен момент часу сумарний струм через котушку від різних плечей резистивної матриці пропорційний числу, що відповідає двійковому коду керування ключами. Решта струму джерела оминає котушку.

В діапазоні від нуля до значення струму джерела (параметр  $\{I\}$  на схемі) забезпечується можливість встановити в котушці одне з 4096 (два в дванадцятій степені) значень струму. При цьому відбувається пропорційне відхилення електронного променя від центру до краю екрана. Щоб відхилити електронний промінь до іншого краю екрана, необхідно пропустити струм через котушку в протилежному напрямку. Для цього встановлено ключі S13 та S14, які здійснюють перекомутацію котушки.

Необхідну послідовність керуючих цифрових сигналів для ключів S1 – S14 забезпечує генератор цифрових кодів X1.

За виключенням котушки індуктивності, в усталеному режимі через кожен елемент схеми протікає незмінний струм. Найбільший струм (половина струму джерела) протікає через ключ і резистор старшого біта. Найменший струм протікає через ключ і резистор молодшого біта. Тож вимоги до електронного ключа визначаються значною мірою умовами роботи у старшому ваговому розряді.

За традиційного підходу до формування телевізійної розгортки обхід екрана світною плямою здійснюється по всіх рядках в одному напрямку. Переведення променя на протилежний бік екрана (зворотний хід) не використовується для формування зображення. При цьому втрачається понад двадцять відсотків часу роботи розгортки.

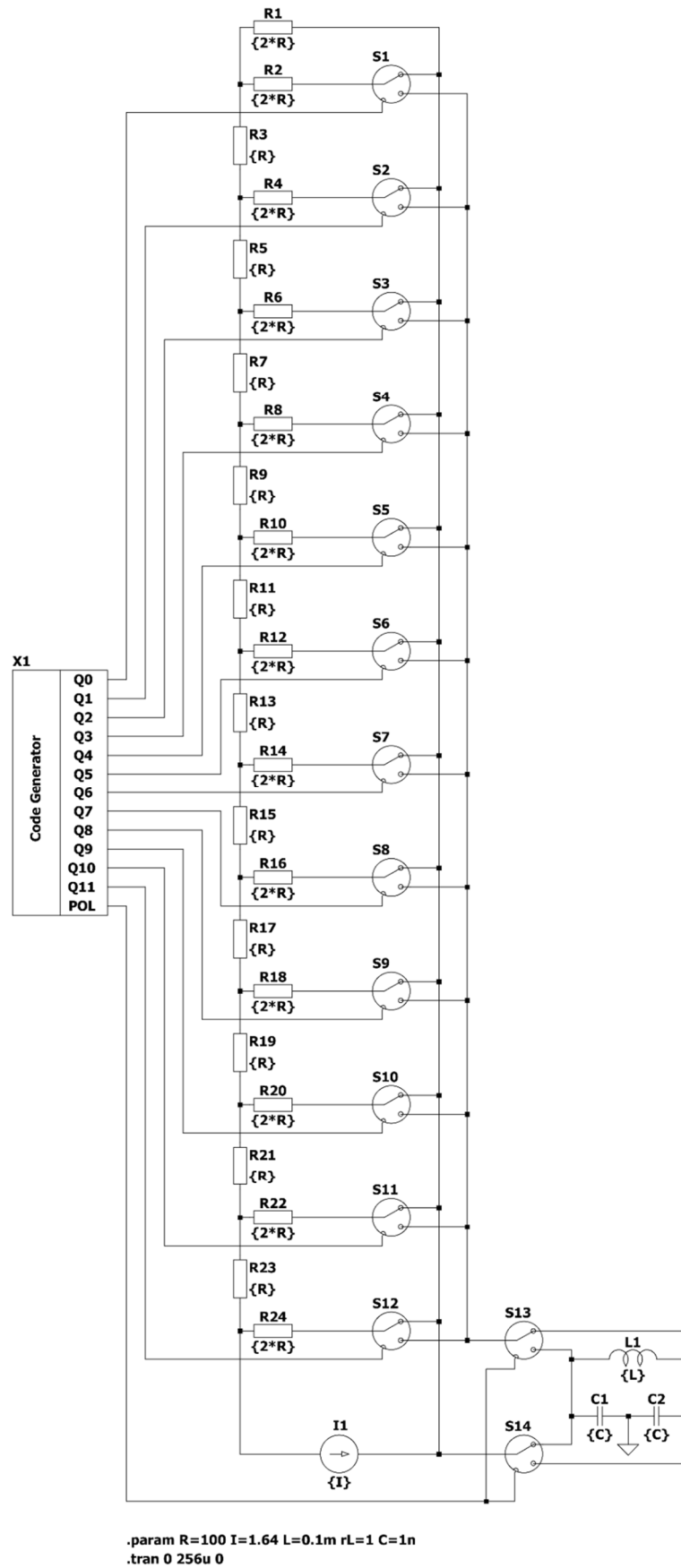


Рис. 1. Схема формування струму розгортки на базі резистивної матриці R-2R

Технічно можливо подати будь-яку послідовність керуючих кодів. Тож сформуємо неперервну розгортку (тобто без потреби зворотного ходу) шляхом сканування непарних рядків в одному напрямку, а парних – у зворотному. Для цього генератор кодів на виходах Q0 – Q11 має видавати послідовність двійкових кодів від нуля до 4095, а потім у зворотному порядку від 4095 до нуля. Одночасно з кодом нуля має формуватися сигнал перекомутації котушки L1.

#### 4. Комп'ютерне моделювання

Наведена на рис. 1 схема виконана в spice-симуляторі LTspice XVII. В модель уведено параметри відхилювальної системи СТOM з [4]. Для перевірки технічної реалізованості запропонованого методу формування розгортки СТOM проведено серію експериментів з комп'ютерного моделювання за допомогою spice-симулятора LTspice XVII.

**Шум від перемикання ключів.** За відсутності блокувальних конденсаторів C1 і C2 спостерігаються викиди на графіку струму відхилювальної системи (рис. 2) в моменти перемикання ключів старших бітів.

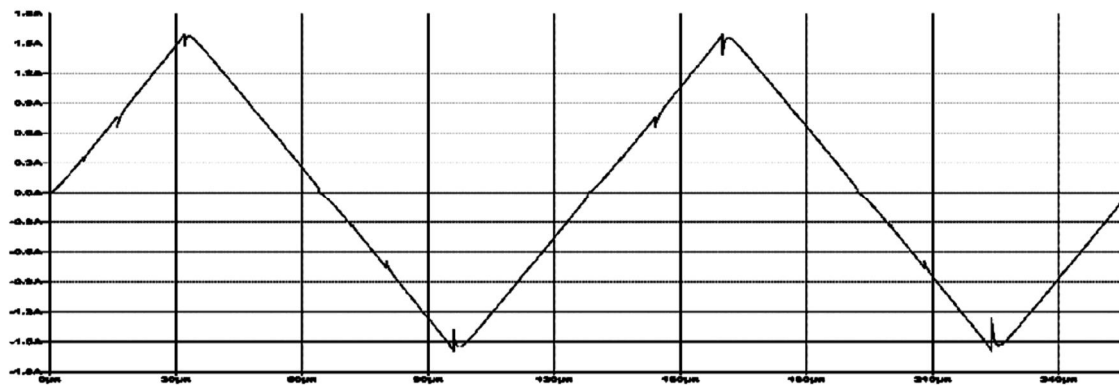


Рис. 2. Графік струму в котушці за відсутності блокувальних конденсаторів

Провали на вершинах графіка струму обумовлені недосконалістю схемотехнічної реалізації генератора кодів. Для цілей spice-моделювання генератор кодів побудовано на базі чотирнадцятибітного двійкового лічильника (рис. 3). Молодші дванадцять бітів (з нульового по одинадцятий) використовуються для керування резистивною матрицею. Дванадцятий біт керує схемою перемикання напрямку лічби. При досягненні максимального коду зміна напрямку лічби з прямого на зворотній здійснюється шляхом заміни прямих виходів лічильника на інверсні, і навпаки при досягненні коду нуля. Тож на рис. 2 можна побачити ще й сходинку при переході графіка через нульове значення струму. За наявності блокувальних конденсаторів на виводах котушки індуктивності, викиди струму в ній згладжуються (рис. 4).

Тринадцятий біт лічильника перемикає полярність підключення котушки відхилювальної системи в момент, коли струм в ній падає до нуля. Отже, організовується протікання струму котушки в обох напрямках, а дванадцятибітна резистивна матриця забезпечує тринадцятибітне позиціонування світної плями в рядку чи стовпці екрана електронно-променевої трубки.

**Залежність форми струму котушки від опору резистивної матриці.** Зі зменшенням номіналів резисторів матриці зростає нелінійність струму в котушках. На рис. 5 спостерігається незначна нелінійність струму порівняно з рис. 4. Опір матриці в цьому експерименті зменшено зі 100 Ом до 50. За значного зменшення опору R графік набуває S-подібної форми. На рис. 6 наведено результат моделювання для R=10 Ом. Добре видно, що при наближенні до амплітудних значень стрімкість графіка зменшується.

Нелінійність струму в котушці відхилювальної системи призведе до неточності позиціонування світної плями на екрані електронно-променевої трубки. Для зменшення нелінійності струму необхідно зменшувати внутрішній опір котушок і збільшувати опір матриці резисторів. Але зі збільшенням опору матриці зростає розсіювана на ній потужність. Також можна не використовувати кодові комбінації, за яких низький сумарний опір резисторів матриці, увімкнених в коло котушки. Оскільки такі комбінації забезпечують найбільші струми в котушці, то доведеться подати вищий струм від джерела, щоб відхилити електронний промінь у крайнє положення. А це, своєю чергою, так само призведе до підвищення розсіюваної потужності у резистивній матриці.

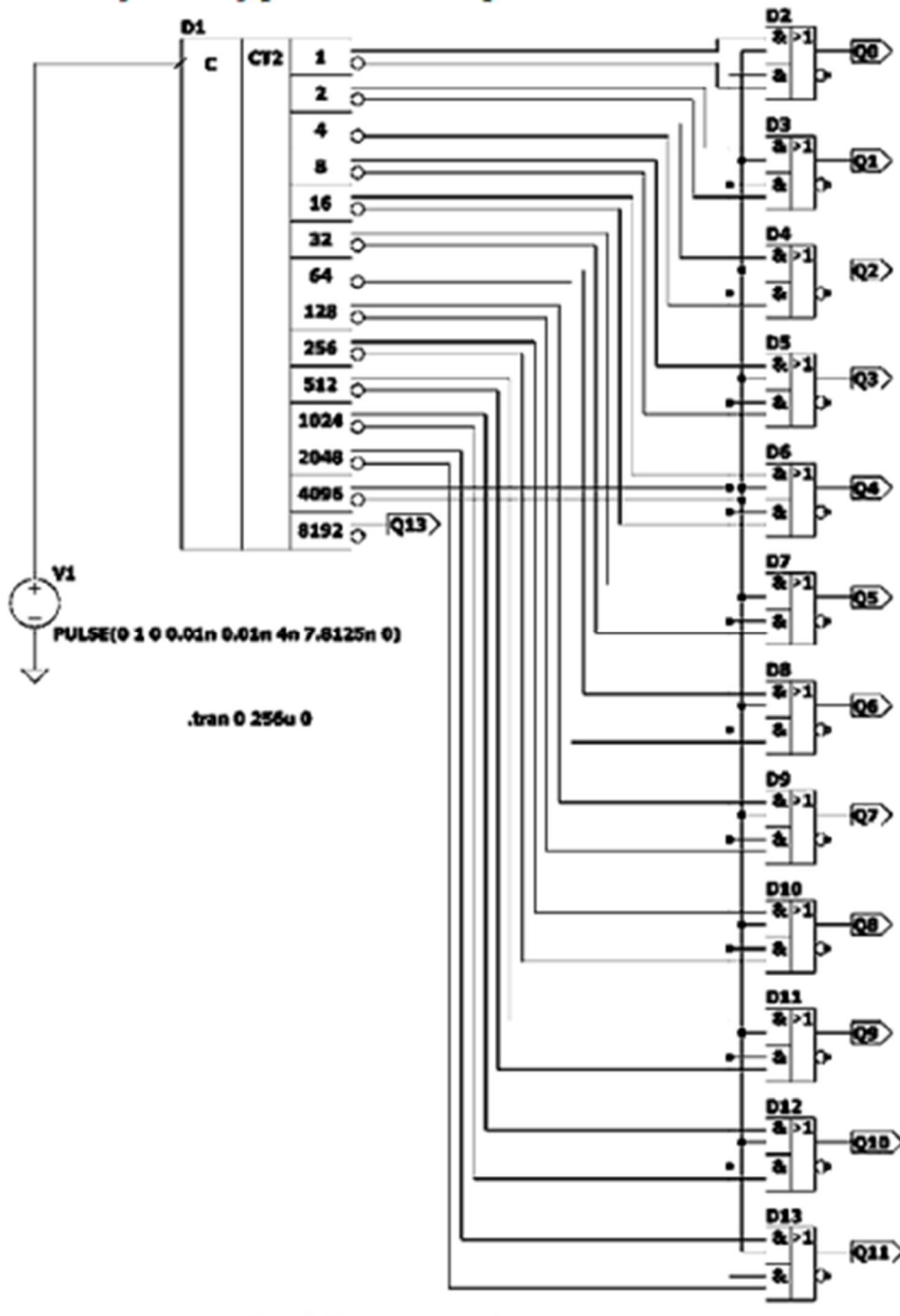


Рис. 3. Генератор кодів розгортки

Ще один шлях подолання нелінійності – використати резистивну матрицю більшої розрядності, ніж число, що визначає кількість положень світної плями в рядку чи у стовпці. Це збільшить можливості позиціонування світної плями. Як наслідок, у запропонованому методі формування неперервної розгортки набір кодів для керування більшою матрицею буде відмінний від послідовності цілих чисел  $\{0, 1, 2, 3, \dots, N\}$ . Частина чисел натурального ряду буде відсутня. Тож виникає потреба застосувати методи і способи проєктування швидких цифрових комбінаційних схем для проєктування блоку керування генератором кодів [10, 11, 12].

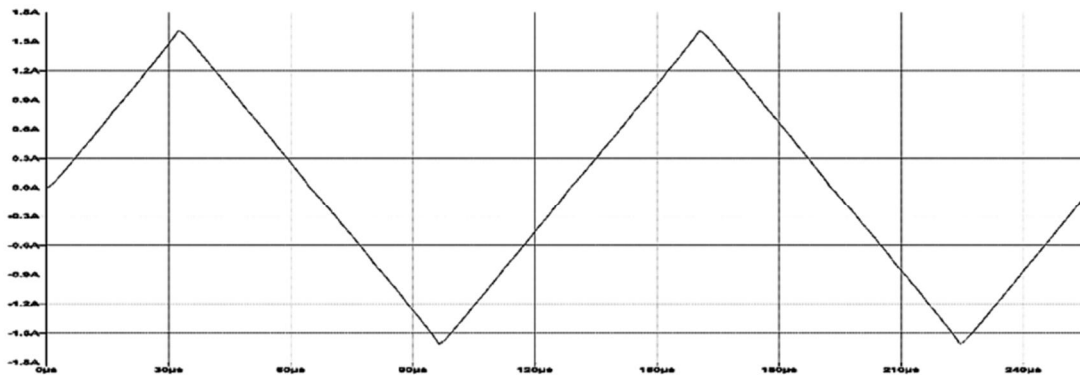


Рис. 4. Графік струму в котушці за наявності блокувальних конденсаторів

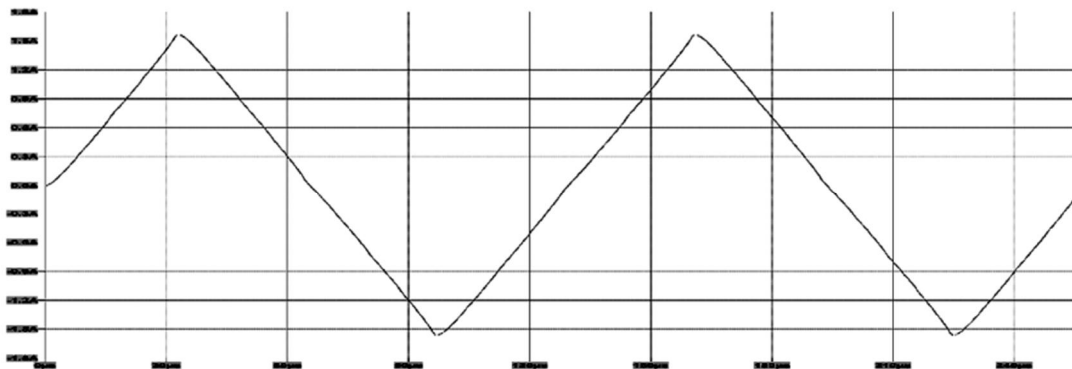


Рис. 5. Графік струму в котушці за  $R=50 \text{ Ом}$

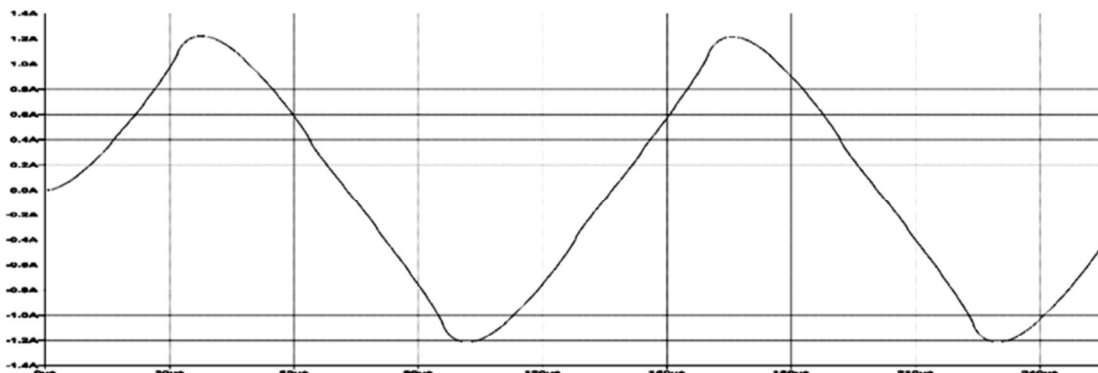


Рис. 6. Графік струму в котушці за  $R=10 \text{ Ом}$

## Висновки

Для формування розгортки на основі перетворювачів “напруга–струм” необхідно забезпечити швидкодію і точність цих перетворювачів у широкому діапазоні струмів. Запропонований в цій роботі метод не потребує компонентів, що працюють в широкому діапазоні струмів. Швидкість і точність позиціонування забезпечуються за рахунок збільшення ширини цифрової шини керування та неперервної траєкторії сканування, що дає змогу змінювати струм малими за амплітудою кроками.

Використовуючи запропонований метод формування розгортки СТМ, можна реалізувати:

- неперервну розгортку за будь-якою траєкторією;
- швидкий пошук контуру мікрооб’єкта;
- відслідковування переміщення мікрооб’єкта через відслідковування переміщення його контуру.

## Список використаних джерел

- [1] Matiieshyn Y., Minziuk V. and Mankovskyy S. (2019). *Algorithmic support of the television scanning optical microscope in the study of microobjects*. In: National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo’2019). Odessa, Ukraine, 9–13 September 2019. IEEE. Pp. 1–6.
- [2] Shkliarskiy V. I. and Matviiv R. Z. (2018). *Formation of the image of investigated biological objects with small contrast in a scanning TV microscope*. In: *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering TCSET’2018, Proceedings of the XIVth IEEE International Conference*. Lviv – Slavske, Ukraine, 20–24 February 2018. IEEE. Pp. 732–737.
- [3] Шклярський В. І., Матієшин Ю. М., Баланюк Ю. В. та Мінзюк В. В. (2017). Алгоритмічне забезпечення роботи телевізійного сканувального оптичного мікроскопа під час дослідження динамічних мікрооб’єктів. *Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Радіоелектроніка та телекомунікації”*, 885, с. 15–21.
- [4] Шклярський, В. І., Гой, В. М., Матвіїв, Р. З. та Матієшин Ю. М. (2016). Формування сканувального раstra змінних розмірів у телевізійному оптичному мікроскопі. *Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Радіоелектроніка та телекомунікації”*, 849, с. 49–56.
- [5] Shkliarskiy V., Matiyeshyn Y. and Balanyuk Y. (2016). *Algorithms of television scanning optical microscope in determining the parameters of dynamic microobjects*. In: *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering TCSET’2016, Proceedings of the XIIIth IEEE International Conference*. Lviv – Slavske, Ukraine, 23–26 February 2016. IEEE. Pp. 321–325.
- [6] Shkliarskiy V., Storozh V. and Matiyeshyn Y. (2016). *Features of the different dynamic microobjects scanning using the television scanning optical microscope*. In: *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering TCSET’2016, Proceedings of the XIIIth IEEE International Conference*. Lviv – Slavske, Ukraine, 23–26 February 2016. IEEE. Pp. 326–332.
- [7] Shkliarskiy V., Matiyeshyn Y., Matviiv R. and Goy V. (2016). *Resizable scanning raster generation in television optical microscope*. In: *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering TCSET’2016, Proceedings of the XIIIth IEEE International Conference*. Lviv – Slavske, Ukraine, 23–26 February 2016. IEEE. Pp. 317–320.
- [8] Shkliarskiy V., Rehus A., Pedan A. and Tebenko J. (2016). *Scanning television optical microscope with controlled freezing of microobject*. In: *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering TCSET’2016, Proceedings of the XIIIth IEEE International Conference*. Lviv – Slavske, Ukraine, 23–26 February 2016. IEEE. Pp. 295–297.
- [9] Prudyus I., Shkliarskiy V. and Matiyeshyn Y. (2015). *Features of determination of the acceleration of different dynamic microobjects by the television scanning optical microscope*. In: *2015 16th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), Proceedings of the 16th IEEE International Conference*. Lviv, Ukraine, 02–05 September 2015. IEEE. Pp. 159–161.
- [10] Мінзюк В. В. (2013). Метод пошуку простих кон’юнктивних термів булових функції побітовим розбиттям множини. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України*, 66, с. 95–103.

- [11] Мінзюк В. В. (2013). Модифікація методу порозрядного вирошування простих кон'юнктивних термів булових функцій. *Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України*, 65, с. 129–134.
- [12] Minziuk V. (2012). *Integers Sorting Method for Boolean Functions Minimization*. In: *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering TCSET'2012, Proceedings of the International Conference TCSET '2012. Lviv – Slavske, Ukraine, 21–24 February 2012*. P. 61.

## METHOD OF FORMING THE SCAN OF A TELEVISION SCANNING OPTICAL MICROSCOPE

V. Minziuk

*Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine*

The article discusses the digital method of forming a scan of a television scanning optical microscope. Known methods use an analog-to-digital converter of a binary code into a voltage, which is fed to a precision voltage-to-current converter. The one actually determines the performance of the microscope. In the work, it is proposed to supply current to the coils of the deflection system from a direct current source through the R-2R resistive matrix. The binary code controls the keys of the weight categories of the resistive matrix and thus determines at each moment of time what part of the source current will pass through the coil of the deflection system, and what will bypass it. At the same time, the total current of the source remains unchanged.

**Keywords:** *television scanning optical microscope, TSOM, scanning, raster, electron beam deflection.*