

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Радіотехнічний факультет

## **РАДІОЕЛЕКТРОНІКА В ХХІ СТОЛІТТІ**

Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції  
студентів та аспірантів «Радіoeлектроніка в ХХІ столітті»  
12 – 14 травня 2020  
Київ, Україна

Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті», Київ, 12 – 15 травня 2020 р.: матеріали конференції — Київ, 2020. — 44 с.

Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті» містять результати наукових досліджень студентської молоді в галузі проблем створення теоретичних засад сучасної радіотехніки та радіоапаратобудування; практичної реалізації досягнень науки та технології; інтелектуалізації процесів проектування та виробництва.

#### **Програмний комітет конференції**

Антипенко Р. В., доцент, к.т.н.

Адаменко В. О., ст. викл.

Булашенко А. В., ст. викл.

Григораш С. О., асистент.

Захарченко О. С., ст. викл.

Мартинюк С. Є., доцент, к.т.н.

Нікітчук А. В., асистент.

Шпилька О. О., доцент, к.т.н.

#### **Організаційний комітет конференції**

*Головня В. М., ст. викл.*

*Лашевська Н. О., к.т.н., доц.*

**Адреса оргкомітету:** Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2100, радіотехнічний факультет, корп. 17, кім. 310, пр-т Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна. **Тел.** (+38097) 291-26-15.

Рекомендовано до друку рішенням програмного комітету конференції та вченої ради радіотехнічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2020 р.)

### III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті

#### ЗМІСТ

<b>Биковський О. В. (Науковий керівник Пільтяй С. І., к.т.н., доц.)</b> ПОЛЯРИЗАТОРИ НА ОСНОВІ КВАДРАТНИХ ХВИЛЕВОДІВ ІЗ ДІАФРАГМАМИ	5
<b>Веденєв Є. О. (Науковий керівник Богомолов М. Ф., доц.)</b> ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БІОТКАНИН	7
<b>Гладун В. В. (Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)</b> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО ЧАСУ ЗАТРИМКИ В МЕРЕЖАХ 5G	9
<b>Гнитецький В. А. (Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)</b> ВИКОРИСТАННЯ ПРЯМИХ З'ЄДНАНЬ У СИСТЕМІ ВИГРУЗКИ ДАНИХ D2D ІЗ МЕРЕЖЕВИМ КОДУВАННЯМ	13
<b>Гнитецький В. А. (Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)</b> ПОБУДОВА МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛГІЇ 4G	15
<b>Головня В. М. (Науковий керівник Зіньковський Ю. Ф., д.т.н., проф.)</b> ЛАЗЕРНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРМЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРОВІ ЛЮДИНИ	18
<b>Демченко І. В. (Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)</b> ЕФЕКТИВНІСТЬ ЦИФРОВОГО ПРЯМОГО МЕТОДУ СИНТЕЗУ ЧАСТОТИ	20
<b>Діхтярук І. І. (Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)</b> ПОХИБКА КОЕФІЦІЄНТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ СИНТЕЗІ ПОТЕНЦІЙНИХ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ	23
<b>Зорін Б. С. (Науковий керівник Богомолов М. Ф., доц.)</b> ПАЛИВНИЙ ЕЛЕМЕНТ НА ВОДІ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В МІКРОЕЛЕКТРОНІЦІ	25
<b>Крот Ю. Ю. (Науковий керівник Нікітчук А. В., асистент)</b> МОБІЛЬНИЙ АНАЛІЗАТОР ЯКОСТІ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕНІ	27
<b>Лисичина С. В. (Науковий керівник Овчаренко Г. Р., ст. викл.)</b> ПЕРСПЕКТИВИ, ПРОБЛЕМИ ТА ПОТРЕБИ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ІНТРАКРАНІАЛЬНОГО ТИСКУ	29
<b>Мальцев М. О. (Наукові керівники Мирончук О. Ю., асист., Нікітчук А. В., асист.)</b> ЕЛЕКТРОННЕ ТАБЛО З ВІДДАЛЕНИМ КЕРУВАННЯМ	31
<b>Степанюк О. О. (Науковий керівник Богомолов М. Ф., доц.)</b> ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИЙ ТВЕРДОЕЛЕКТРОЛІТНИЙ ГЕНЕРАТОР КИСНЮ	33
<b>Тимофєєв Д. В. (Науковий керівник Богомолов М. Ф., доц.)</b> ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ СТИМУЛЯТОР БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ТОЧОК ЛЮДИНИ	35
<b>Цвілюк Д. А., Федорова Р. М. (Наукові керівники Богомолов М. Ф., к.т.н., доц., Білошицька О. К., ст. викл.)</b> ЛАЗЕРНИЙ ПОЛЯРИМЕТР ЗІ СТАТИЧНИМ АНАЛІЗАТОРОМ ДЛЯ ГЛЮКОМЕТРІЇ	37
<b>Чапля Д. В. (Науковий керівник Богомолов М. Ф., доц.)</b> МЕТОД ФУР'Є-СПЕКТРОСКОПІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БІОТКАНИН	39
<b>Ященко С. В. (Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)</b> ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ 5G	42



## ПОЛЯРИЗАТОРИ НА ОСНОВІ КВАДРАТНИХ ХВИЛЕВОДІВ ІЗ ДІАФРАГМАМИ

*Биковський О. В.*

*(Науковий керівник Пільтяй С. І., к.т.н., доцент)*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,*

*Радіотехнічний факультет*

Поляризатор — це мікрохвильовий пристрій, який виконує перетворення електромагнітних хвиль із ортогональними коловими поляризаціями у хвилі з ортогональними лінійними поляризаціями та навпаки [1]–[3]. Таке перетворення відбувається шляхом внесення диференційного фазового зсуву, близького до  $90^\circ$ , між модами хвилеводу з ортогональними поляризаціями. Поляризатор може бути розроблений і виготовлений на основі круглого, коаксіального або квадратного хвилеводів. Основною перевагою поляризатора із діафрагмами над поляризаторами інших видів є можливість забезпечення найбільш широкосмугового режиму роботи із хорошими електромагнітними характеристиками, які можна поліпшувати за рахунок збільшення кількості використаних у структурі діафрагм. Недоліком є зростання довжини поляризатора, яке виникає у цьому випадку. Також поляризатори на основі діафрагм у хвилеводах є технологічними пристроями, оскільки вони можуть бути відносно просто виготовлені за допомогою високоточного фрезування двох однакових симетричних металевих деталей. Внутрішня структура типової конструкції поляризатора на основі квадратного хвилеводу з діафрагмами представлена на рис. 1.

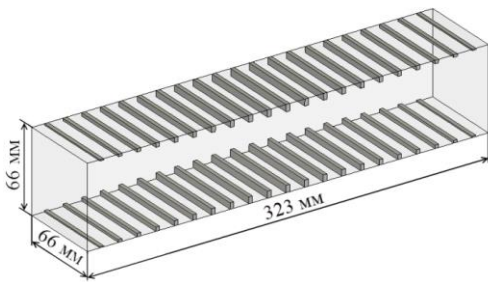


Рис. 1. Структура поляризатора на основі квадратного хвилеводу з діафрагмами

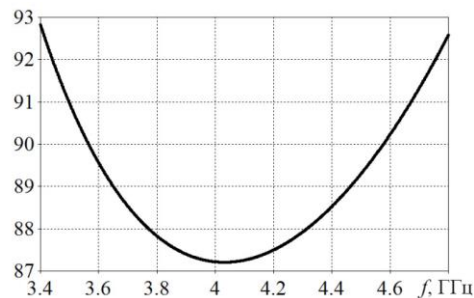


Рис. 2. Диференційний фазовий зсув поляризатора для діапазону 3,4–4,8 ГГц

У розробленому в [1] поляризаторі за допомогою оптимізації конструкції було отримано диференційний зсув фаз між модами  $TE_{10}$  та  $TE_{01}$   $90^\circ \pm 3^\circ$  у межах розширеного С-діапазону частот 3,4–4,8 ГГц. Відповідна кросполяризаційна розв'язка є вищою 30 дБ. Отриманий після оптимізації диференційний фазовий зсув показано на рис. 2.

Метод забезпечення потрібного диференційного фазового зсуву виключно за допомогою оптимізації розмірів діафрагм [2] має таку ж гнучкість розробки,

як і комбінований метод зі зміною поперечних розмірів хвилеводу [3]. Проте при комбінованому методі можна отримати менше відхилення диференційного фазового зсуву від  $90^\circ$  при однакових поздовжніх розмірах або меншу довжину поляризатора при тому ж диференційному фазовому зсуві. Частина фазового зсуву вносять секції хвилеводу зі зміненими поперечними розмірами, тому необхідна кількість діафрагм у структурі поляризатора може бути зменшена.

На рис. 3 показано отримані в [2] вимірний (суцільна лінія) та розрахований (пунктирна крива) диференціальний фазовий зсув розробленого авторами поляризатора. Максимальне відхилення диференційного фазового зсуву від розрахованого становить  $0,3^\circ$  і виникає на верхній частоті робочого діапазону 5,7–7,7 ГГц. Кросполяризаційну розв'язку представлено на рис. 4. Результати її вимірювання за допомогою методу, запропонованого в [4], показано колами.

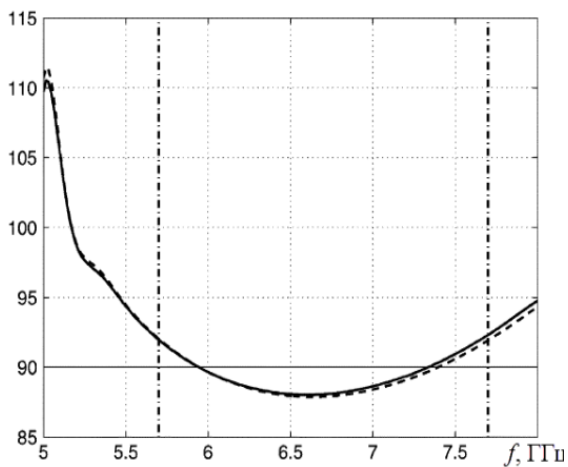


Рис. 3. Диференціальний фазовий зсув поляризатора комбінованого типу

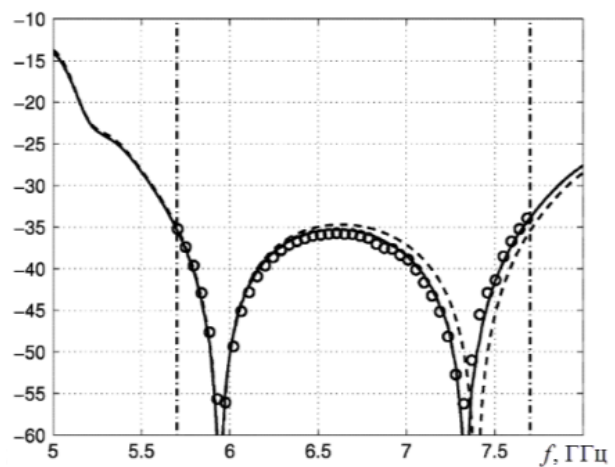


Рис. 4. Кросполяризаційна розв'язка поляризатора для діапазону 5,7–7,7 ГГц

Отже, поляризатори на основі квадратних хвилеводів із діафрагмами забезпечують якісні електромагнітні характеристики у широких робочих діапазонах частот і можуть бути виготовлені за допомогою високоточного фрезування. Отже, вони є найефективнішими для застосування в сучасних супутникових інформаційних системах різного призначення.

#### Література

1. Piltyay S. I. High performance extended C-band 3.4–4.8 GHz dual circular polarization feed system / S. I. Piltyay // Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques, pp. 284–287, May 2017.
2. Virone G. Optimum-iris-set concept for waveguide polarizers / G. Virone, R. Tascone, O. A. Peverini, R. Orta // IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., 2007. – Vol. 17, No. 3, pp. 202–204.
3. Virone G. Combined-phase-shift waveguide polarizer / G. Virone, R. Tascone, A. Peverini, etc // IEEE Microwave and Wireless Compon. Letters. – 2008. – Vol. 18, No. 8. – pp. 509–511.
4. Peverini O. A. A microwave measurement procedure for a full characterization of ortho-mode transducers / O. A. Peverini, R. Tascone, A. Olivieri, etc // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2003. – Vol. 51, No. 4. – pp. 1207–1213.
5. Пільтяй С.І. Інтегрований хвилевідний фазозсувач на основі індуктивних штирів / С.І. Пільтяй, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукр. наук.-метод. конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: СДУ, 2020. — С.82–83.

## ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БІОТКАНИН

*Веденєєв Є. О.*

*(Науковий керівник Богомолов М. Ф., доцент)*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,*

*Факультет біомедичної інженерії*

Перспективним напрямком розвитку сучасних діагностичних систем є лазерна діагностика, яка базується на аналізі картин розсіяного світла[1-2]. Було розроблено оптоелектронний пристрій, за допомогою якого можна отримувати зображення розсіяного інфрачервоного світла від пальця людини чи від підготовлених препаратів крові чи інших тканин. Також було виготовлено елемент живлення постійним струмом для напівпровідникових лазерів медичного призначення. Оптична схема розробленого пристрою зображена на рис. 1.

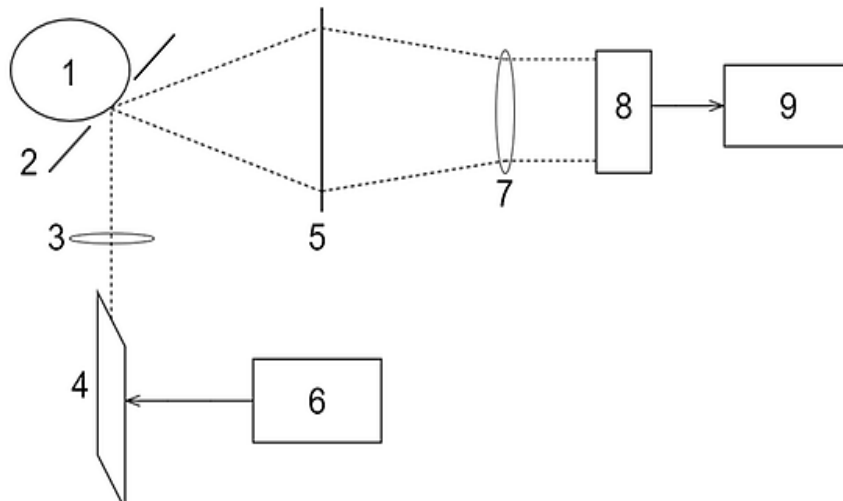


Рис. 1. Оптична схема пристрою для дослідження характеристик біотканин: 1 – біооб’єкт, 2 – щілина для встановлення об’єкта, 3 – фокусна лінза, 4 – інфрачервоний напівпровідниковий лазер, 5 – екран, 6 – елемент живлення постійним струмом, 7 – об’єктив камери, 8 – фоточутлива матриця камери, 9 – комп’ютер

Принцип роботи даного приладу полягає у тому, що інфрачервоне лазерне випромінювання з довжиною хвилі 808 нм, яке виділяє напівпровідниковий лазер на основі AlGaAs, підключений до елемента живлення, пройшовши через фокусну лінзу розсіюється на досліджуваному біооб’єкті, яким може бути шкіра пальця людини. Розсіяне світло утворює на екрані картину розсіювання, що знімається об’єктивом без інфрачервоного фільтру і матрицею камери, яка через USB порт передає зображення на комп’ютер.

### III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті

Дане зображення можна спостерігати у неперервному режимі, а також фіксувати фотографію і зберегти на комп'ютері з подальшою можливістю обробки і аналізу.

Схема виготовленого елемента живлення зображена на рис. 2.

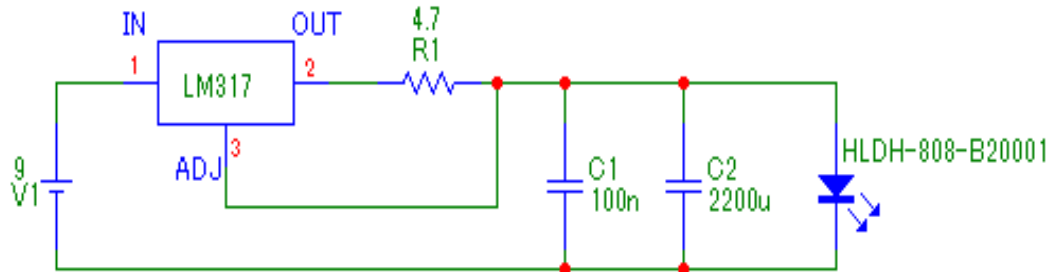


Рис. 2. Електрична схема елемента живлення постійним струмом для напівпровідникових лазерів медичного призначення

Схема виконана на основі стабілізатора напруги LM317. Вона може працювати від постійної напруги в діапазоні від 5 до 35 вольт[3]. Для живлення у приладі було обрано дев'ятивольтову крону.

Необхідний опір резистора  $R_1$  розраховується за наступною формулою[3]:

$$R_1 = \frac{1.25}{I_{\text{ж}}},$$

де  $I_{\text{ж}}$  – струм живлення.

Струм живлення лазера HLDH-808-B20001 - 260мА. Згідно з формулою  $R_1 = 4.81$  Ом. Обираємо 4.7 Ом. Струм становитиме 266 мА, що лежить в допустимих межах для використовуваного лазера.

Отже, такого типу оптоелектронний пристрій може слугувати для отримання зображень картин розсіювання світла від тканин людини. В результаті автоматичної обробки подібних зображень можна буде швидко отримати цінну інформацію про стан організму людини. Даний прилад є багаторазовим і портативним.

#### Література

Применение спекл-визуализации в оценке микроциркуляции поверхностных биотканей / [Калилец Т.В., Меженя М.М., Дик С.К. та ін.] // Big data and advanced analytics. – 2018. – №4. – с. 438–444.

Букатый В.И. Угловое распределение излучений гелий-неонового лазера при прохождении через слой крови / В.И. Букатый, Я.В. Павлов, С.И. Сакович, Г.Г. Устинов, // Физика – 2003.— с.2

Стабилизатор тока для светодиода (LED) на микросхеме LM317. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: [http://www.joyta.ru/4390-stabilizator-toka-dlya-svetodioda-led-na-mikroscheme-lm317/#k\\_lm317\\_t](http://www.joyta.ru/4390-stabilizator-toka-dlya-svetodioda-led-na-mikroscheme-lm317/#k_lm317_t). Останній вхід 04.04.2020.



## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО ЧАСУ ЗАТРИМКИ В МЕРЕЖАХ 5G

*Гладун В. В.*

*(Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Сьогодні основними рушіями до розвитку нових мобільних мереж 5G є збільшення об'єму інформації, що передають мобільні мережі, створення нових програм із високою швидкістю передачі даних, зростання кількості пристроїв, що підключаються до мережі, а також поява Інтернету речей (IoT), тактильного Інтернету, Інтернету всього (IoE). Тут одним із ключових питань, які треба вирішити це зменшення затримки сигналу[4]. В 2019 році лікарями у Пекіні було вперше проведено дві дистанційні операції на хребті людини за допомогою технологій 5G. Для швидкодії затримка сигналу має бути якомога меншою. Затримка – інтервал часу від моменту відправлення пакету даних передавачем, проходження через мережу і до отримання його абонентом. Якщо у мережах LTE Advanced затримка становить 10 мс, то мережі 5G потребують її зменшення до 1-0,1 мс [2]. Затримка пакетів даних присутня практично на усіх етапах оброблення та передачі сигналу (рис. 1).



Рис. 1. Етапи передачі сигналу, що вносять затримку

Затримка сигналу залежить від багатьох факторів: щільності розподілу базових станцій (БС), ширини смуги пропускання, часу передачі (ТТІ), кількості абонентів БС та інше [2]. На рис. 2 а наведено графік залежності затримки сигналу від щільності розподілу базових станцій. Також варто звернути увагу на вплив затримки на надійність – чим більша затримка, тим вища надійність інтерфейсу передачі даних (рис. 2 б).

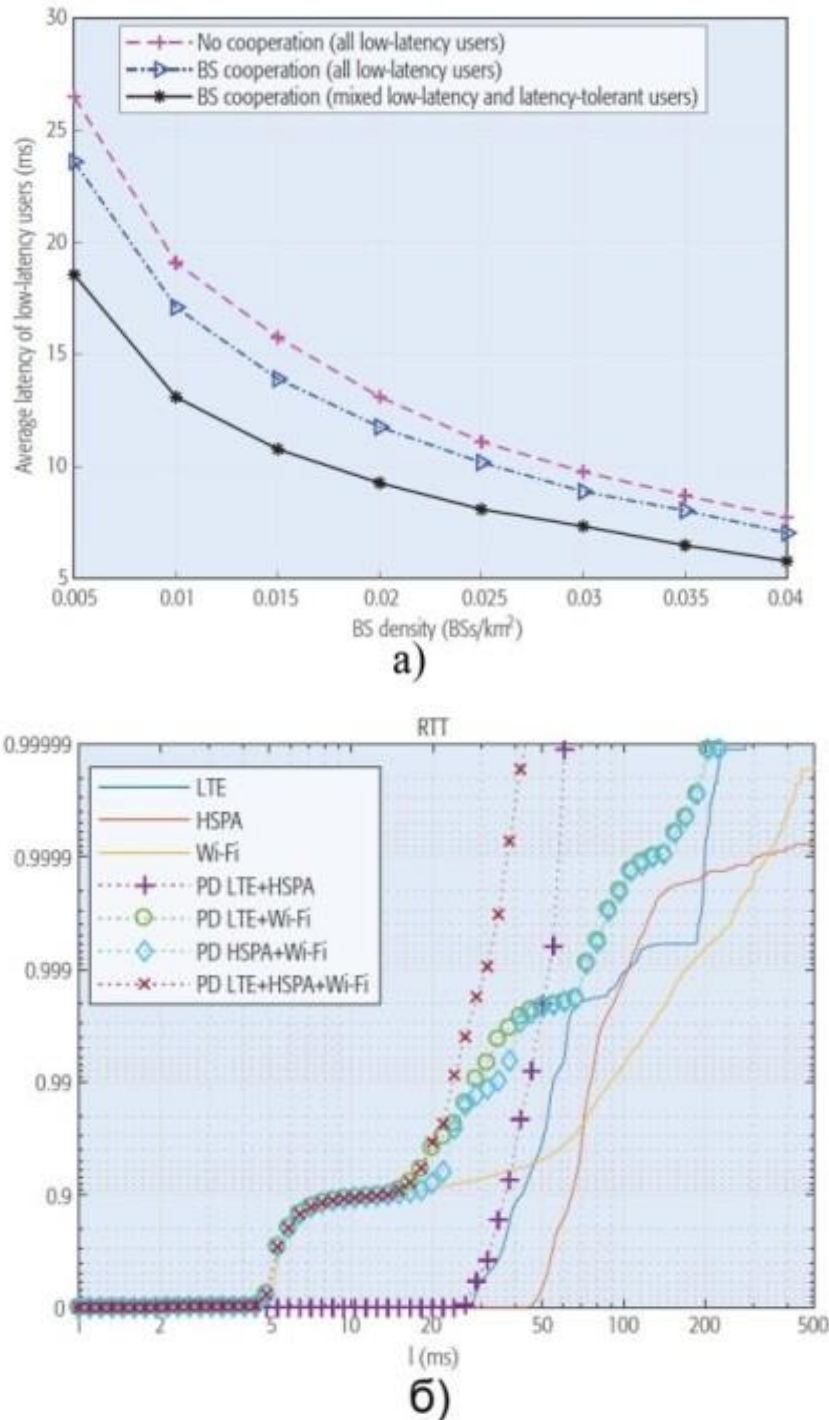


Рис. 2. а) Залежність затримки від щільності розподілу БС; б) Залежність надійності від затримки для різних інтерфейсів

У мережах 5G очікується розвиток технології device-to-device (D2D), що забезпечує прямий зв'язок між мобільними пристроями. Абоненти зможуть обмінюватись даними напряму, без необхідності їх маршрутизації через всю мережу. Зрозуміло, що даний підхід значно скорочує затримку сигналу та зменшує навантаження мережі. Такі технології можна використовувати, наприклад, при моніторингу руху автомобільного транспорту. Це автоматичні миттєві повідомлення про затори, аварії на дорогах, інформація про дорожні

знаки та стани світлофорів, забезпечення безпеки дорожнього руху. Дорожньо-транспортної пригоди на рис. 3 можна уникнути, забезпечивши надійний обмін інформацією в режимі реального часу, що можна реалізувати за допомогою D2D [3].

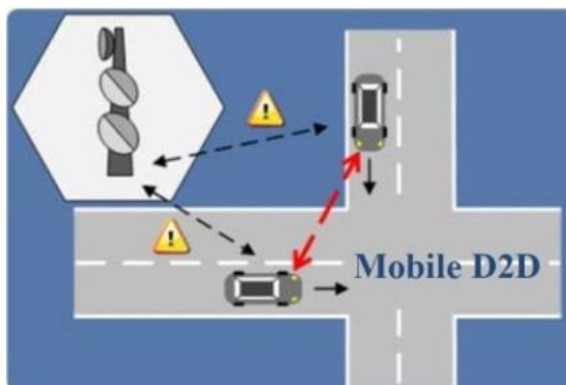


Рис. 3. Приклад дорожньої ситуації

Зменшити затримку сигналу можна також завдяки зменшенню часу передачі (ТТІ – Time Transmission Interval) [1]. Малий ТТІ дозволяє передавати дані з більш високою швидкістю. Асоціація 3GPP представила дуже гнучку кадрову структуру для 5G NR, яка дає можливість зменшити тривалість передачі у порівнянні з LTE. Наприклад, може змінюватись інтервал між підносійними (SCS – Subcarrier Spacing) для виконання операцій у різних діапазонах частот. У мережі LTE стандартний розмір SCS становить 15 кГц і може масштабуватися з коефіцієнтом  $2^N$ , де  $N = [0, 1, 2, 3, 4, 5]$ . Крім того, кількість символів OFDM сигналу за час передачі також може змінюватись. Дотримуючись концепції NR, користувачів можна розмістити на комірках, що складаються з 14 OFDM-символів, або використовувати міні-комірки, що складаються з 1-13 символів. Таким чином, зменшення ТТІ можна реалізувати зменшенням тривалості символу (збільшенням SCS), або зменшенням кількості символів. Наприклад, ТТІ тривалістю 0,125 мс може бути реалізованим завдяки розширенню інтервалу між підносійними до 120 кГц ( $N=3$ ).

Значна частина часу затримки вноситься у приймачеві. Типовий LTE-приймач близько 60 % часу обробки витрачає на турбодекодування, а інша частина витрачається на такі операції, як OFDM-обробка, стабілізація та демодуляція [1]. Зменшити час обробки можна, використовуючи код з малою щільністю перевірок на парність LDPC, що узгоджений з 3GPP для 5G NR. Для подальшого зменшення часу обробки пропонується зменшити час надсилання повідомлення гібридного автоматичного повторного запиту (HARQ) шляхом передбачення правильності прийому пакету даних. Якщо прогноз передбачає помилку в пакеті даних, то відразу робити запит на повторну передачу пакету.

Очікується, що мережа 5G буде підтримувати технологію OFDMA, але і деякі нові схеми множинного доступу, такі як SCMA, MUSA, PDMA, що можуть підтримувати більшу кількість з'єднань та покращити ефективність використання частотного ресурсу. Затримка сигналу може бути значно знижена за рахунок збільшення кількості з'єднань шляхом надання гарантованого

### III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті

доступу до мережі. Компанія Huawei пропонує використовувати в мережах 5G метод SCMA – багатостационарний доступ до мережі, заснований на розріджених кодах [5]. Ця технологія поєднує в собі код низької щільності та технологію модуляції, що вибирає оптимальні коди шляхом кон'юкції, заміщення і повороту фази, і робить таким чином, щоб різні користувачі передавали інформацію на основі привласнених кодових книг (рис. 2). Даний метод кодової модуляції сигналів дозволить забезпечити в 2,7 разу більше користувачів в одній соті, у порівнянні з LTE, що використовують традиційний OFDMA.

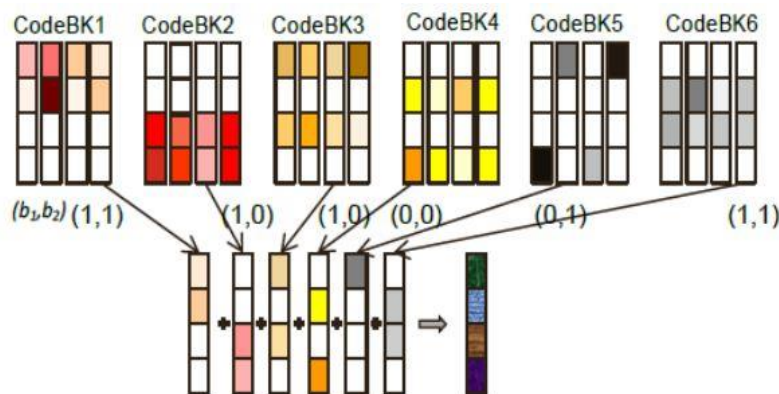


Рис. 4. Кодові книги SCMA

Отже, в ході роботи були розглянуті деякі методи зменшення затримки сигналу в мережі 5G. Навіть, якщо абоненти не помітять переваг нових технологій, у порівнянні з LTE, низькі затримки та висока швидкість передачі даних стануть у нагоді для Інтернету речей, безпілотного транспорту, віртуальної реальності, дистанційної медицини та інших технологій майбутнього.

#### Література

1. Pucovi G. Achieving Ultra-Reliable Low-Latency Communications: Challenges and Envisioned System Enhancements / G. Pucovi, H. Shariatmadari, G. Berardinelli, K. Pedersen // IEEE Network. – 2018. – Vol. 32, no. 2. – pp. 8-15. DOI: 10.1109/MNET.2018.1700257.
2. Гладун В.В. Забезпечення високої якості мережі 5G за допомогою D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // МНТК «РТПСАС», 18 – 24 листопада 2019 р, Київ. – С. 57 – 59.
3. Popovski P. Wireless Access for Ultra-Reliable Low-Latency Communication: Principles and Building Blocks / P. Popovski, J. J. Nielsen, C. Stefanovic, E. Carvalho // IEEE Network. – 2018. – Vol. 32, no. 2. – pp. 8-15. DOI: 10.1109/MNET.2018.1700258.
4. Medbo J. Channel modelling for the fifth generation mobile communications / J. Medbo, K. Borner, K. Haneda, V. Novinen // The 8th European Conference on Antennas and Propagation, 6-11 April 2014, The Hague, Netherlands. – The Hague: IEEE, 2014.
5. Гнитецький В.А. Забезпечення дуже низьких затримок у стільниковій системі 5G на базі МЕС / В.А. Гнитецький, А.В. Булашенко // МНТК «РТПСАС». 18 – 24 листопада 2019 р, Київ. — С. 153 – 155.
6. Тихвинский В.О. Возможности технологии 5G для создания сетей широкополосного беспроводного доступа в малых и средних населенных пунктах // В. О. Тихвинский // Региональный семинар МСЭ «Оптимальные решения по обеспечению широкополосного доступа в малых и средних населенных пунктах», 17-19 фев. 2015 г., г. Москва.

## ВИКОРИСТАННЯ ПРЯМИХ З'ЄДНАНЬ У СИСТЕМІ ВИГРУЗКИ ДАНИХ D2D ІЗ МЕРЕЖЕВИМ КОДУВАННЯМ

Гнитецький В. А.

(Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,

Радіотехнічний факультет

У зв'язку із збільшенням обсягів трафіка, що передається, мобільні оператори створюють активне ущільнення своїх стільникових покриттів [1-2]. Використання прямого зв'язку D2D між абонентськими терміналами, що розміщені у безпосередній близькості один від одного, є цікавою альтернативою для розвантаження стільникових з'єднань без виникнення додаткових витрат на боці оператора [3-4]. З'єднання D2D пропонують більш високу швидкість передачі даних, більш низьку затримку доступу та підвищену енергетичну ефективність. Використовуємо підходи, що пов'язані із мережесимованим кодуванням, для збільшення ступеня доступності цільового контенту на пристроях, що взаємодіють в режимі D2D [5-7].

На рис. 1 подана робота системи D2D, що містить стільникову БС та множини абонентських терміналів, що його обслуговують.

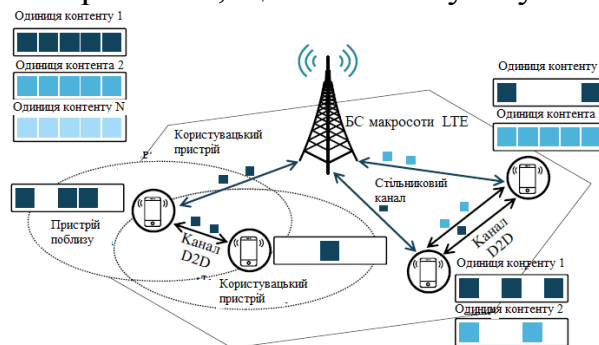


Рис. 1. Алгоритм роботи системи D2D

Вони запрошують, скачують та зберігають у своїй внутрішній пам'яті фрагменти закодованих даних, що відповідають різним одиницям контенту. Такі фрагменти можуть бути або завантажені із стільникової мережі, або одержані від інших користувачів.

Особливості роботи інтегрованої системи зв'язку по відношенню затримки передачі та ймовірності успішного обслуговування залежно від його завантаження подані на рис.2. Отже, можна зробити висновок про те, що порівнянні між собою режими роботи функціонують в діапазоні інтенсивності вхідного потоку, але демонструють різну поведінку. Використання режиму VT приводить до зниження ймовірності успіху та збільшення затримки, тоді коли використання режиму NC наближує характеристики продуктивності до

аналогічних для стільникової мережі у всьому, за виключенням часу доставку інформації.

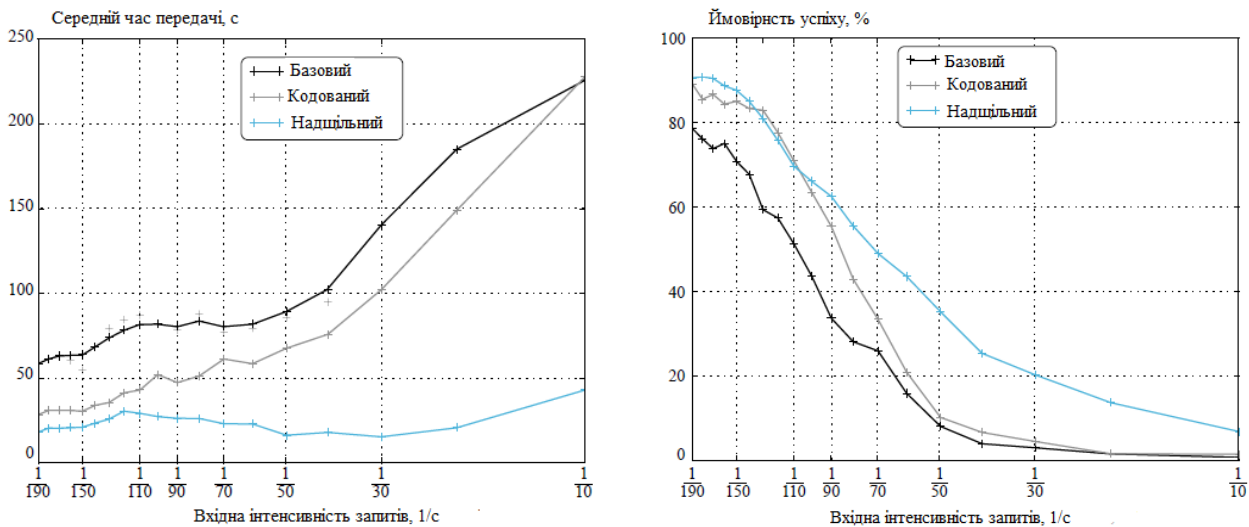


Рис. 2. Затримка передачі та ймовірності успішного обслуговування залежно від вхідної інтенсивності

Таким чином, вивантаження трафіка на з'єднання D2D із мережевим кодуванням являє собою альтернативу надщільному стільниковому покритті в широкому спектрі вхідних параметрів. Реально існуючі технології D2D, такі як система Wi-Fi-Direct має доступ відразу до декількох каналів по 20 МГц, причому при роботі мережі Wi-Fi можна очкувати використання режиму пере використання частот 1/3 в діапазоні 2.4 ГГц, а також 23 додаткових каналу в діапазоні 5ГГц, що потенційно збільшує вже значну ємність шару D2D.

#### Література

1. Pahlavani P. Novel concepts for device-to-device communication using network coding / P. Pahlavani, M. Hundeboll, M. Pedersen // IEEE Communications magazine. – 2014. – Vol. 52, No.4. – pp.32-39. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6807944.
2. Гладун В.В. Забезпечення високої якості мережі 5G за допомогою технології D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // МНТК «РТПСАС». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 57 – 59
3. Гнитецький В.А. Забезпечення дуже низьких затримок у стільниковій системі 5G на базі МЕС / В.А. Гнитецький, А.В. Булашенко // МНТК «РТПСАС». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 153 – 155.
4. Lima L. Topology matters in network coding / L. Lima, D. Ferreira, J. Barros // Telecommunication Systems. – 2012. – Vol. 51, No. 4. – pp. 247-257.
5. Булашенко А.В. Система вигризки на основі D2D / А. В. Булашенко, В.В. Гладун // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 166 –167.
6. Ляшко Д.Г. Спільне використання ресурсів D2D та мобільного зв'язку / Д.Г. Ляшко, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 170 –171.
7. Militano L. Network coding and evolutionary theory for performance enhancement in wireless cooperative clusters / L. Militano, F. Fitzek, A. Iera // European Transactions on Telecommunications. – 2010. – Vol. 21, No. 8. – pp. 725-737. DOI: 10.1002/ett.1435.

## ПОБУДОВА МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ 4G

*Гнитецький В. А.*

*(Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,*

*Радіотехнічний факультет*

Радіотехнології швидкими темпами розвиваються, і на зміну мереж 3G пришли мережі 4G. Останні декілька років в Україні стрімко розгортають мережу четвертого покоління 4G на основі LTE.

Технологія LTE (Long-Term Evolution) – це мобільний протокол передачі даних в мережах 4G, що є продовження мереж 3G [1-9]. Ця технологія здатна забезпечити збільшення швидкості передачі даних в мобільних мережах до 90 разів. Мережі 3G забезпечують швидкість передачі даних до 3,6 Мбіт/сек, а мережі LTE дозволяють забезпечити швидкість передачі даних до 326.4 Мбіт / с від базової станції до користувача і до 172.8 Мбіт / с у зворотному напрямку.

Архітектура мережі LTE забезпечує підтримку пакетного трафіка з мінімальними затримками доставки пакетів і високими показниками якості обслуговування. Спрощена архітектура показана на рис.1. Мобільність забезпечують двома її видами: роумінгом та хендовуером. Мережа LTE повинна підтримувати дані типи мобільності з усіма існуючими мережами, для LTE-абонентів необхідно забезпечити всебічне покриття послуг безпроводного широкосмугового доступу.

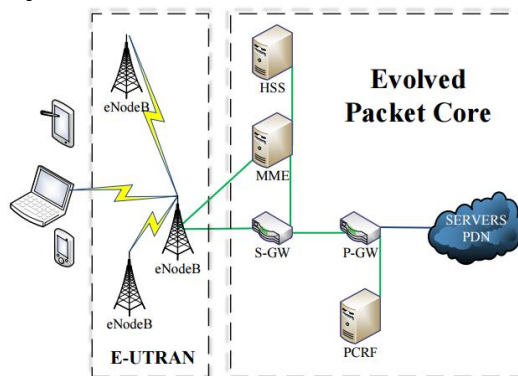


Рис.1. Спрощена архітектура мережі LTE

Пакетна передача дозволяє забезпечити всі послуги, включаючи передачу користувальницького голосового трафіка. Архітектура мереж LTE досить проста, оскільки практично всі мережні взаємодії відбувається між двома вузлами: базової станцією БС та блоком управління мобільністю БУМ, в технічних специфікаціях БС називається В-вузлом (Node-B, eNB), а БУМ (MME, Mo-bility Management Entity), реалізаційна, включає і мережевий шлюз Ш (GW, Gateway), тобто мають місце комбіновані блоки MME / GW. Перехід до технології LTE дозволяє операторам зменшити загальні витрати мережі, що

### III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті

дає можливість розширити покриття та підвищити доходи від надання послуг передачі даних. Але, для запуску мобільної технології необхідно мати вільні частоти. Найбільш популярний діапазон, в якому практично весь світ буде 4G FDD LTE є 1800 МГц, а в Україні ці всі частоти використані під мобільний зв'язок GSM та зайняті трафіком передачі даних GPRS і EDGE.

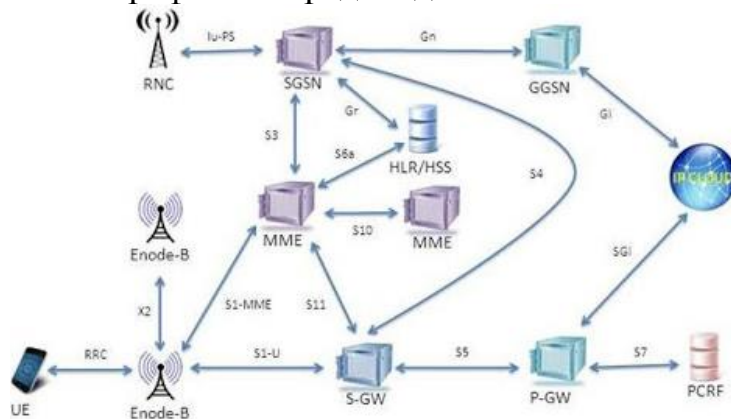


Рис. 2. Архітектура мережі LTE

LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування ортогональних несучих OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), багатоантенних системи MIMO (Multiple Input Multiple Output) і еволюційна системна архітектура мережі SAE (System Architecture Evolution). Дуплексне розділення каналів може бути частотним (FDD) та часовим (TDD). Підтримка FDD (Frequency Division Duplex) дуже зручна для звичайних стільникових операторів, оскільки використовують спарені частоти. Вона більш ефективна в плані використання частотного ресурсу, ніж TDD. Найбільш поширеним варіантом передачі даних є саме FDD технологія.

Технологія OFDM передбачає передачу широкосмугового сигналу за допомогою незалежної модуляції, розташованих з певним кроком по частоті  $f$ . Один OFDM-символ містить набір модульованих піднесучих. У часовій області OFDM-символ включає поле даних (корисна інформація) і так званий циклічний префікс CP (Cyclic Prefix) - повторно передаваний фрагмент кінця попереднього символу.

Багатоантенні системи MIMO в LTE [5] максимально спрощені, тому що орієнтовані на прості абоненські пристрої. Стандарт розглядає MIMO-схеми 1, 2 і 4 передавальних і приймальних антен в різних поєднаннях. У MIMO-системах є два основні види передачі – просторове мультиплексування і диверсифікована передача.

Система SAE є ефективною підтримкою широкого комерційного використання будь-яких послуг на базі IP та забезпечення безперервного обслуговування абонента при його переміщенні між мережами безпроводового доступу (рис. 3). У мережі з архітектурою SAE застосовують вузли лише двох типів – БС (evolved NODEB, eNodeB) і шлюзи доступу (Access Gateway, AGW). Зменшення числа типів вузлів дозволить операторам понизити витрати як на розгортання мереж LTE/SAE, так і на їх подальшу експлуатацію.



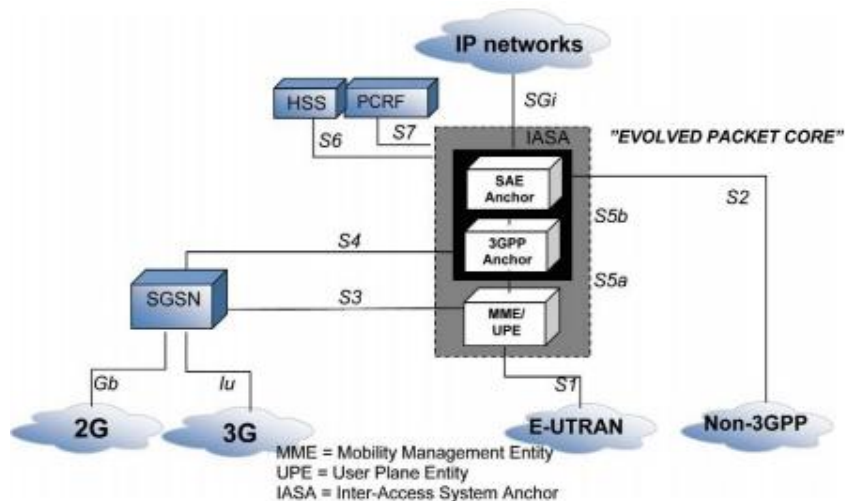


Рис. 3. Зразкова архітектура мережі LTE

Отже, мережа 4G фактично є еволюційним розвитком стільникових мереж попередніх поколінь. працездатність мереж попередніх поколінь зберігається при побудові мереж LTE, обладнання якої успішно взаємодіє з вже встановленому у мережі обладнанні, та не впливає на поточні послуги, при цьому вводяться нові.

### Література

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. – Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура, Москва, «Эко-Трендз», 2010 – 158 с.
2. Rezk M. Performance comparison of a novel hybrid smart antenna system versus the fully adaptive and switched beam antenna arrays /M. Rezk, W. Kim, Z. Yun, M.F. Iskander // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2015. – Vol. 4. – pp. 285-288. DOI: 10.1109/LAWP.2005.854003.
3. Булашенко А.В. Міська радіомережа зв'язку четвертого покоління на основі LTE-Advanced / А.В. Булашенко, В.С. Чвикова // Матеріали X науково-технічної конференції «Радіоелектроніка в XXI столітті». — Київ: КПІ, 12-13 травня 2016. — С. 36 – 41.
4. Булашенко А.В. Порівняльний аналіз технологій 4G / А.В. Булашенко, Т.В. Горієнко // Матеріали II Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 20 квітня 2017 року. – Суми: Сумський державний університет, 2017. — С. 177 – 181.
5. Булашенко А.В. Модель MIMO у радіомережі 4G / А.В. Булашенко, О.С. Вус // МНТК «РТПСАС». Київ, 20 – 26 березня 2017 р — Київ, 2017. — С. 158 – 161.
6. Булашенко А.В. Аналіз побудови 4G радіомереж / А.В. Булашенко, Т.В. Гордієнко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 20 – 26 березня 2017 р — Київ, 2017. — С. 164 – 167.
7. Булашенко А.В. Модель OFDM з цикло-стаціонарним визначенням спектру / А.В. Булашенко, С.В. Ященко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 192 – 194.
8. Булашенко А.В. Використання циклостаціонарної функції для покращення детектування / А.В. Булашенко, І.В. Демченко // МНТК «РТПСАС». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 33 – 35.
9. Chen S. LTE-V: A TD-LTE-Based V2X solution for future vehicular network /S. Chen, Z. Li, Y. Shi, J. Hu // IEEE Internet of Things Journal. – 2016. – Vol. 3, no. 6. – pp. 997-1005. DOI: 10.1109/IJOT.2016.2611605.

## **ЛАЗЕРНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРМЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРОВІ ЛЮДИНИ**

*Головня В. М.*

*(Науковий керівник Зінковський Ю. Ф., д.т.н., проф.)*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,*

*Радіотехнічний факультет*

Задачі медичної діагностики, зокрема крові людини і стану здоров'я людини взагалі, вимагають нових підходів до створення сучасних методів і апаратури лабораторної діагностики, високоінформативних і ефективних систем з точки зору їх впровадження в медичну практику.

Для біомедичних досліджень чи не найважливішими характеристиками на сучасному етапі розвитку науки, є безболісність, неруйнівність, неінвазивність вимірювань в процесі діагностики. Серед методів, що можуть це забезпечити, чільне місце займають оптичні. Оптичним методам притаманні і ряд інших переваг, а саме: індиферентність оптичного сигналу до електромагнітних завад, потенційна багатоканальність проміння і найбільша у природі швидкість передачі інформації [1,2]. Вони дозволяють досить точно визначати кількісні і якісні показники дослідного зразка.

Також важливими характеристиками діагностики є: тривалість часу до отримання остаточного результату, вартість проведення діагностики, підготовка персоналу [3].

Прогресивним методом є метод експрес аналізу формених елементів крові за допомогою лазерного сканування. Більшість оптичних явищ, що відбуваються при взаємодії лазерного випромінювання з форменими елементами крові людини й використовуються у лазерних технологіях, можуть бути якісно й кількісно пояснені на основі квантово-механічного підходу [4]. Використовується характерна особливість, а саме здатність елементів крові змінювати інтенсивність лазерного променя при взаємодії, то можливість встановлення цієї зміни з певною долею ймовірності, а саме з заданою точністю визначати форму формених елементів крові, і цим самим встановлювати наявність патологічних змін в організмі людини.

Для реалізації такого методу дослідження формених елементів крові запропонований пристрій основним принципом якого є визначення параметрів не інтегральне, а зчитуються параметри спектральної щільності відбитого лазерного променя від зразку крові по просторовій розгортці відбувається сканування зразку крові (рис.1.).

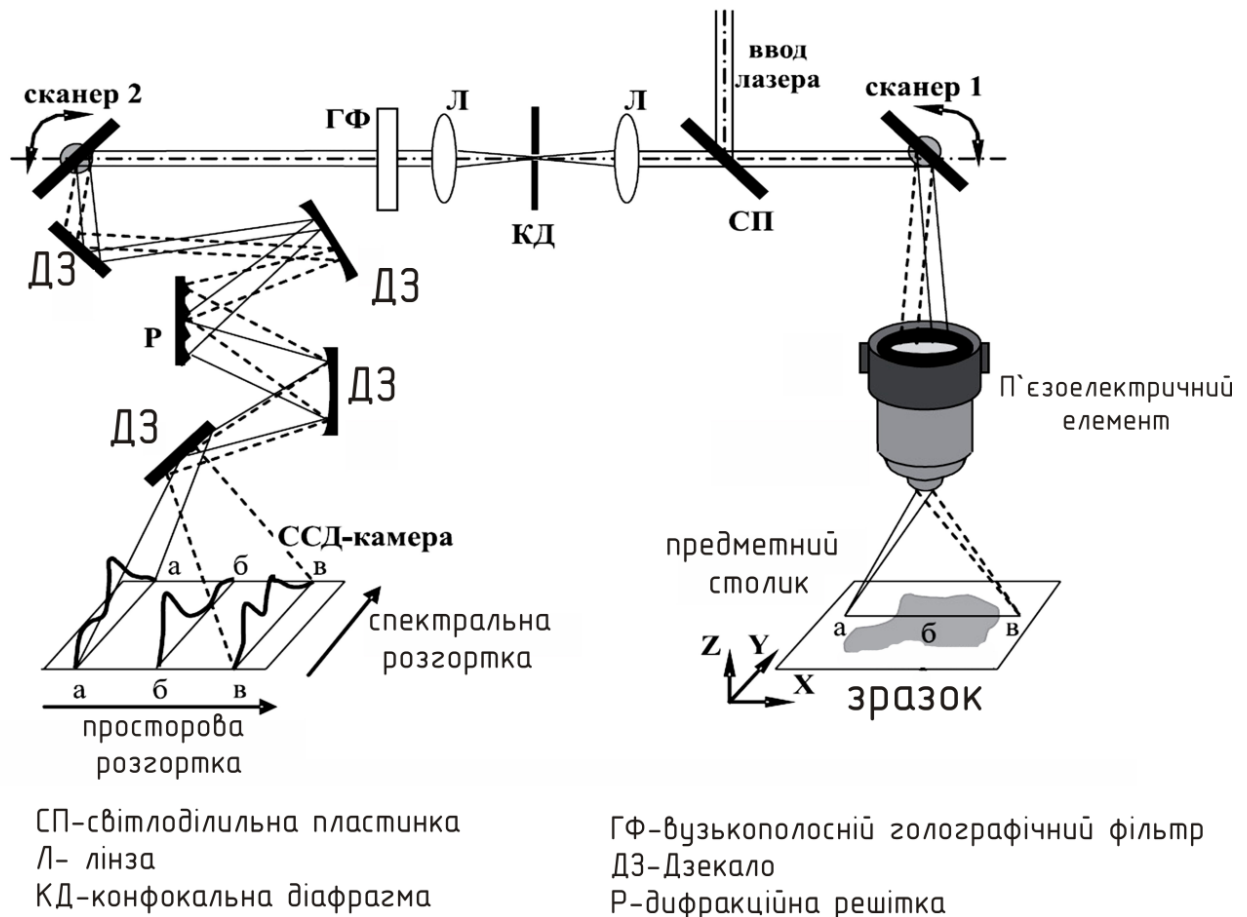


Рис. 1. Схема пристрою для визначення параметрів проби крові

Проведені дослідження в галузі томографії показали, що ефект розсіювання можна ефективно використати в процесі сканування проби крові. А саме: при скануванні лазерним променем суспензії з еритроцитами, яка має концентрацію, при якій відбувається лише одне – два відбиття. За цими експериментальними даними можливо за зміною рівня інтенсивності в часі (спектральна розгортка) встановити середньостатистичну форму еритроцита (просторова розгортка).

### Література

1. Петрук В. Г. Математичне моделювання індикатрис розсіювання частинок полідисперсних водних середовищ / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, І. В. Васильківський і ін. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2010. № 2, с. 9-13.
2. Чубенко О. В. Параметри давача реєстрації розсіяного світла від компонентів рідини / В.М. Головня, О.В. Чубенко // МНТК «РТПСАС - 2017». 20 – 26 березня 2017 р, Київ. — С. 222 – 224.
3. Савенко Я. В. Лазерний кореляційний аналізатор для селекції та визначення характеристик елементів цільної крові людини // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. -2005.-№1.-С. 131-135.
4. Панфілов Н. І. Лазерний лабораторний пристрій для визначення параметрів лейкоцитів / Н. І. Панфілов, В. М. Головня // Студентський науковий семінар “Наукові розробки РТФ’2018”, 03 – 05 грудня 2018, Київ. – С. 87-88.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ЦИФРОВОГО ПРЯМОГО МЕТОДУ СИНТЕЗУ ЧАСТОТИ

Демченко І. В.

(Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,

Радіотехнічний факультет

Багато робіт [1-7] присвячено прямому цифровому синтезу (DDS або Direct Digital Synthesis). Структурна схема такого синтезатора подана на рис.1.

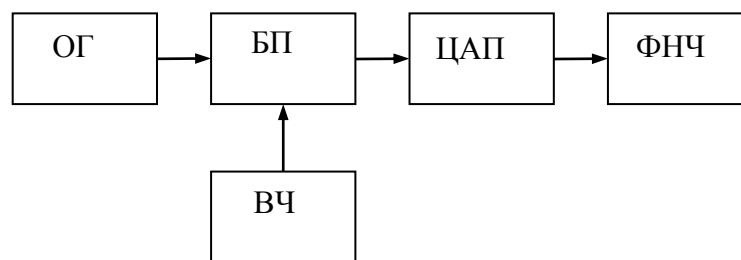


Рис.1. Структурна схема синтезатора

На рис. 1 опорний генератор (ОГ) формує  $N$  імпульсів, що зчитуються за період  $T_0$ . Завдяки зміні періоду можна змінити частоту імпульсної послідовності. Блок пам'яті (БП) містить відліки гармонічної функції для різних аргументів. У блоці встановлення частоти (ВЧ) за визначеною програмою обчислюються поточні значення гармонічної величини. Частота в імпульсній послідовності  $f$  на виході кратна кроку сітки  $\Delta f$  та дорівнює  $f=k \cdot \Delta f$ , где  $k=1, \dots, N$ . Далі є цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) для формування гармонічного коливання. ФНЧ усуває побічні частоти. Максимальна вихідна частота не може бути вище половини тактової частоти ОГ  $f_0$ . Верхня частота  $f_{\max}$  також визначається граничною частотою блока ЦАП.

Використання DDS дозволяє покращити параметри СЧ с ФАПЧ та досягти нових унікальних результатів в побудові збуджувачів. Табличний метод формування відліків гармонічної функції  $\sin$  є найкращим методом формування відліків. БП частіше є ПЗП, в якому є таблиця для перекодування. Код, що подається на адресні входи ПЗУ є аргументом функції  $\sin$ , а вихідний код ПЗП є значенням функції для даного аргументу. Аргумент функції  $\sin$  змінюється у часі лінійно, що забезпечує двійковий лічильник, а для переналаштування вихідної частоти використовують дільник частоти із змінним коефіцієнтом ділення  $N$ , на вхід якого буде надходити тактовий сигнал с ОГ.

Основним недоліком є погана здатність до переналаштування по частоті. Крок перебудови є змінним, оскільки тактова частота ділиться на ціле число. Чим менше коефіцієнт ділення  $N$ , тим більше відносна величина кроку, що є неприпустимо грубим за малих коефіцієнтах ділення. Частота дискретизації

### III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті

буде змінюватися при переналаштуванні вихідної частоти. Це ускладнює фільтрацію вихідного сигналу, а також веде до неоптимального використання швидкісних характеристик ЦАП, що будуть використані лише на максимальній вихідній частоті. Таким чином, краще працювати на постійній частоті дискретизації, що близька до максимальної ЦАП.

Усунути такі недоліки можна шляхом заміни адресного лічильника ПЗУ суматором, що накопичує. Накопичуючий суматор є регістр, що в кожному такті роботи пристрою перезавантажується величиною, що дорівнює старому вмісту, плюс деяка стала добавка. Коли накопичуючий суматор використовується для формування коду фази. Вихідний код фази є код миттєвої фази вихідного сигналу. Стала добавка, що використовується при роботі коду фази, є прирощування фази за один такт роботи пристрою. Частота генерованого сигналу є більшою, чим швидше змінюється фаза у часі. Тому код вихідної частоти  $M$  є фактичним значенням приросту фази.

Тактова частота ділиться на деяке число, що визначається кодом частоти та розрядністю фази. При цьому крок переналаштування частоти не залежить від її значення та є  $\Delta f_0 = f_0 / (2N)$ . Звідси маємо, якщо збільшити розрядність  $N$ , то зменшиться крок переналаштування частоти. Отже, в DDS формується послідовність кодів миттєвої фази сигналу, що змінюється лінійно (рис.2). Швидкість зміни фази задається кодом частоти. Потім лінійна фаза в ПЗП перетворюється у відліки, що змінюються за гармонічним законом, що надходять на ЦАП, на виході якого формується гармонічний сигнал із «сходинок». Вони фільтруються за допомогою аналогового ФНЧ, на виході якого маємо гармонічний сигнал.

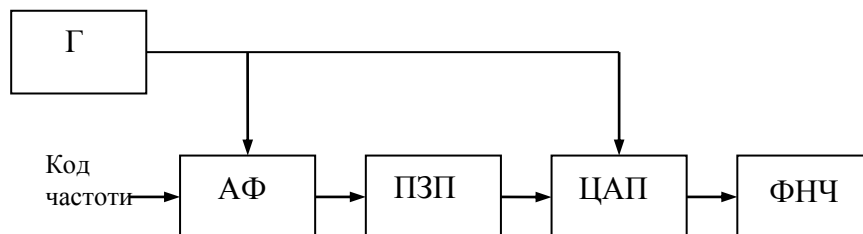


Рис. 2. Синтезатор із накопичуючим суматором

Схема (рис. 2) формується на базі мікросхеми AD9914 компанії Analog Device і є синтезатор частоти, що використовується як гетеродин РЛС. Система гетеродина містить цей синтезатора частот та тракт перетворення частоти до необхідних параметрів. Сам синтезатор забезпечує точність переналаштування частот, крок настроювання частоти та низький рівень фазових завад. Тракт перетворення частоти відповідає за потужність вихідного сигналу, частоту вихідного сигналу та відношення сигнал/завада.

На рис. 3 наведені залежності рівня побічних компонентів від розрядності коду фази для ЦАП різної розрядності. Немає необхідності збільшувати розрядність коду фази, оскільки зниження рівня побічних компонентів

відбувається лише до визначеного значення, що залежить від рівня завад. квантування ЦАП. На практиці розрядність коду фази має бути на 2–3 розряди більше, ніж розрядність використаного ЦАП.

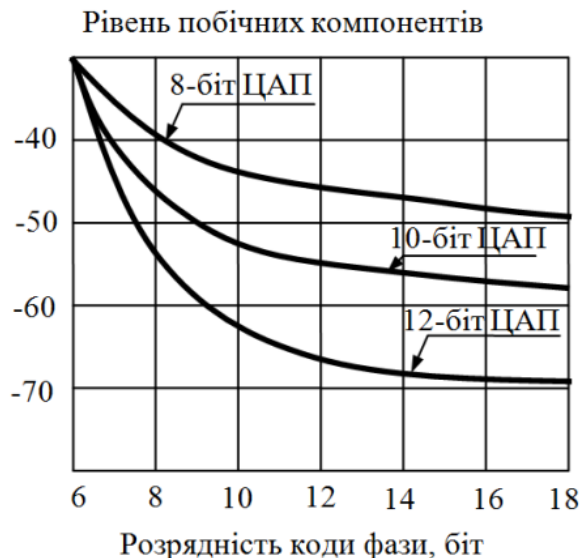


Рис. 3. Залежність рівня побічних компонентів від розрядності коду

Таким чином, отримані характеристики DDS із ФАПЧ, вказують, що відмовившись від швидкої перестройки частоти можна забезпечити кращі характеристики вихідного сигналу. Ключові переваги DDS зберігаються, це мале енергоспоживання, мала кількість деталей.

#### Література

1. Cordesses L. Direct digital synthesis: a tool for periodic wave generation (part 1) / L. Cordesses // IEEE Signal Processing Magazine. – 2004. – Vol. 21, No. 4. – pp. 50-54. DOI: 10.1109/MSP.2004.1311140.
2. Cordesses L. Direct digital synthesis: a tool for periodic wave generation (part 2) / L. Cordesses // IEEE Signal Processing Magazine. – 2004. – Vol. 21, No. 5. – pp. 110-112. DOI: 10.1109/MSP.2004.1328096.
3. Демченко І.В. Ємнісний датчик на основі дельта-сігма модулятора / І.В. Демченко, А.В. Булашенко // Матеріали I Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті». — Київ: КПІ, 15-17 травня 2018. — С. 22 – 24.
4. Vankka J. Direct digital synthesis: a tool for periodic wave generation (part 1) / J. Vankka // Proceedings of 1996 IEEE International Frequency Control Symposium, 5-7 June 1996. – Honolulu, USA. DOI: 10.1109/FREQ.1996.560280.
5. Булашенко А.В. Синтезатор частоти з мікропроцесорним керуванням / А.В. Булашенко // Науково-методична конференція викладачів, співробітників і студентів : тези доповідей, 27 квітня 2010 року Конотопський ін-т СумДУ. – Суми: СумДУ, 2010. – Ч.1. – С. 127-130.
6. Маленчик Т.В. Алгоритм подавлення завад у режимі псевдовипадкового переналаштування частоти / Т.В. Маленчик, А.В. Булашенко // 23-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Конференція «Інформаційні радіотехнології та технічний захист інформації», Т.3 — Харків: ХНУРЕ, 16-18 квітня 2019. — Т.3. — Р. 129 – 130
7. Ридико Л.И. DDS: прямой цифровой синтез частоты // Компоненты и технологии. - 2001. № 7-8. – с. 50-56.

**ПОХИБКА КОЕФІЦІЄНТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ СИНТЕЗІ  
ПОТЕНЦІЙНИХ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ**

*Діхтярук І. І.*

*(Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,*

*Радіотехнічний факультет*

Підвищення якості великої кількості замкнених кіл з негативним зворотним зв'язком (НЗЗ) зводиться до зменшення похибки статизма за рахунок збільшення коефіцієнта підсилення або до забезпечення сталості похибки статизма при вимірюванні параметрів кола зворотного зв'язку. Також це можна здійснювати за рахунок побудови замкнутого кола у відповідності із принципом підсилення дуального сигналу [1, 4-6].

Мінімальна похибка статизма замкнутого кола з НЗЗ забезпечується, коли вхідна та вихідна величини кола (напруги чи струму) є дуальними по відношенню до вхідної та вихідної величин підсилювача (струму або напруги) на базі якого побудоване замкнене коло. Тобто, тип підсилювача має бути дуальним по відношенню до типу замкнутого кола. По відношенню до потенційних, імпеданс них та адмітансних кіл дуальними є підсилювачі струму, напруги, провідності або опора [2,3].

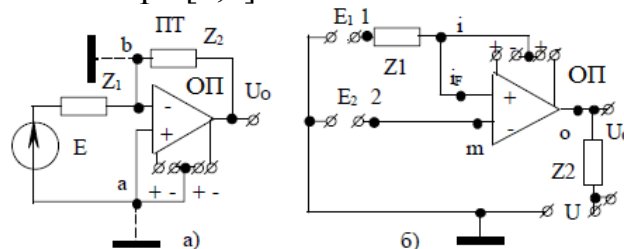


Рис. 1

У схемі потенційного операційного перетворювача, що побудований на операційному підсилювачу (рис. 1) коефіцієнт перетворення ОП та його похибка мають вигляд

$$S = \frac{U_0}{E_1} = \frac{Z_2}{Z_1} (1 + \gamma),$$

$$\gamma \cong \frac{\frac{U_{3M}}{E_1} \cdot \frac{1}{1 + K_U} - \frac{U_{3M}}{E_1} - \frac{R_{il}}{Z_1} - \frac{r + Z_2}{R \parallel Z_1} \cdot \frac{1}{1 + K_U}}{1 + \frac{R_{il}}{Z_1} + \frac{r + Z_2}{R \parallel Z_1} \cdot \frac{1}{1 + K_U}}$$

У виразі для похибки  $\gamma$  не врахований вплив опора навантаження  $R_H$ , що включено паралельно опорі  $R_2$ ,  $K_U$  – коефіцієнт підсилення ОП за напругою. У схемі потенційного операційного перетворювача, що побудований на операційному підсилювачу в інвертуючому увімкненні (рис. 1а) коефіцієнт перетворення ОП та його похибка мають вигляд

$$S = -\frac{U_0}{E_1} = -\frac{Z_2}{Z_1}(1 + \gamma),$$

$$\gamma \cong \frac{\frac{U_{3C}}{E} \left[ \frac{r + R_i}{Z_2} - 1 \right] + \frac{R_i}{Z_1} - \frac{r + Z_2}{K \cdot Z_1}}{1 + \frac{R_i}{Z_1} + \frac{r + Z_2}{R \parallel Z_1} \cdot \frac{1}{1 + K_U}}.$$

У схемі потенційного операційного перетворювача, що побудований на операційному підсилювачу, що увімкнений із підсилювачем струму в загальному випадку (рис. 1б) коефіцієнт перетворення ОП та його похибка коефіцієнта перетворення ОП, коли не враховувати доданки більш високого порядку

$$S = \frac{U_0 - U}{E_1 - E_2} = k \frac{Z_2}{Z_1}(1 + \gamma),$$

$$\gamma \cong \frac{\frac{E_2}{E_1 - E_2} \cdot \frac{1}{1 + K_U} - \frac{U_{3C}}{E_1 - E_2} - \frac{R_{il}}{Z_1} - \frac{r + Z_2}{R \parallel Z_1} \cdot \frac{1}{1 + K_U}}{1 + \frac{R_{il}}{Z_1} + \frac{r + Z_2}{K_U \cdot Z_1}}.$$

Із записаних виразів випливає, що похибки коефіцієнта підсилення ОП, що визначаються напругою зсуву  $U_{3C}$  майже однакові. При  $E_1 = E_2$  (рис. 1б) похибка  $\gamma = \infty$ , що вимагає нормування припустимих діапазонів вимірювання  $E_1 - E_2 \neq 0$ . При  $E_1 = 0$  для ОП (рис. 1а) похибка  $\gamma = \infty$ , що вимагає нормування допустимих діапазонів вимірювань  $E_1 \neq 0$ .

Таким чином, ОП побудовані на підсилювачі струму при збереженні принципу підсилення дуальності сигналу мають меншу кількість точних опорів, у ряді випадків велику точність коефіцієнтів підсилення, більш ширші функціональні можливості у порівнянні із ОП різниці двох напруг, що побудовані на операційному підсилювачі.

#### Література

1. Зарукин А.И. Сравнительный анализ схемных решений повторителей тока // Датчики и системы, 2003, №6.– С.23–26.
2. Волгин Л.И., Зарукин А.И. Двуполярные измерительные усилители тока // Изв. Самарского научного центра РАН, 2001.– Т.3, №1.– С. 168–173.
3. Constantinescu F. A new approach to parameter identification of linear circuits / F. Constantinescu, C.V. Marin, M. Nitescu, D. Marin // IEEE Proc. of the international conference on signals, circuits and systems.– Romania, 2003.– P. 457–460.
4. Булашенко А.В. Аналіз електричної схеми на основі схемної функції за допомогою мови програмування C# / А.В. Булашенко, А.А. Петровський // Матеріали X науково-технічної конференції «Радіоелектроніка в XXI столітті». — Київ: КПІ, 12-13 травня 2016. — С. 30 – 33.
5. Забегалов И.В. Оценка точности вычислений [Текст] / И.В. Забегалов, А.В. Булашенко // Научно-методична конференція: тези доповідей, 27 квітня 2010 року Конотопський ін-т СумДУ. — Суми : СумДУ, 2010. — Ч.1. — С. 124-127.
6. Булашенко А.В. Аналіз ефективності методів діагностики електричних кіл в умовах недостачі даних / А.В. Булашенко, В.А. Пташніченко // Матеріали I всеукраїнська науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті». — Київ: КПІ, 15-17 травня 2018. — С. 54 – 56.



## ПАЛИВНИЙ ЕЛЕМЕНТ НА ВОДІ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В МІКРОЕЛЕКТРОНІЦІ

Зорін Б. С.

(Науковий керівник Богомолов М. Ф., доцент)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,

Факультет біомедичної інженерії

Останнім часом гостро постала проблема екологічних джерел енергії. Зокрема, важливими є портативні джерела енергії, в ролі яких наразі в більшості випадків виступають літій-іонні акумулятори. Для них притаманний ряд недоліків, які подолати вкрай важко. Основні з них: мала кількість циклів заряджання-розряджання; проблема з утилізацією; зниження ємності при низьких температурах.

Перспективним напрямком розвитку технологій екологічної енергетики є паливні елементи. В даній роботі буде розглянуто елемент, для якого паливом слугує вода [1].

Робота паливного елемента заснована на застосуванні протонпровідної мембрани. Конструкція паливного елемента є доволі простою і зображена на рис. 1.

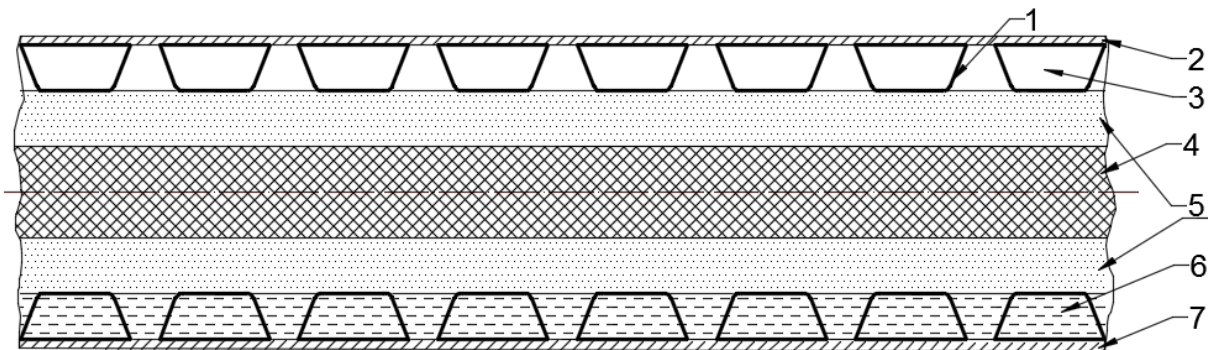


Рис. 1. Конструкція паливного елемента в розрізі: 1 – струмознімач; 2 – анод; 3 – повітря; 4 – протонпровідна мембрана; 5 – активний шар; 6 – вода; 7 – катод

Головний принцип роботи паливного елемента полягає в утворенні протонів водню на активному шарі катодної частини [3]. Від'єднання електронів спричиняється дрібнодисперсною платиною, яка виступає каталізатором і нанесена на активний шар, основою якого є вуглецева тканина [4]. Від'єднані електрони прямують до катоду і через нього направляються в зовнішнє електричне коло.

З іншого боку мембрани електрони, витікаючи з аноду, іонізують кисень повітря під дією платинового каталізатора. Тим часом, іони водню через протонпровідну мембрану прямують до аноду, де, відновлюючи кисень, утворюють воду, яка і є продуктом роботи паливного елемента.

### III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті

Загалом робота паливного елемента описується рівнянням Нернста (1):

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \lg \frac{[A]}{[B]},$$

де  $E^0$  – стандартний електродний потенціал провідника;  $R$  – універсальна газова стала ( $R = 8,31$  Дж/(моль · К));  $T$  – абсолютна температура;  $F$  – число Фарадея ( $F = 9,65 \cdot 10^4$  Кл · моль<sup>-1</sup>);  $n$  – кількість електронів, що беруть участь у процесі;  $[A]$  та  $[B]$  – концентрації речовини, іони якої створюють струм на різних електродах [2].

Напруга на електродах при стандартних умовах буде наступною:

$$E = \frac{RT}{nF} \lg \frac{[A]}{[B]} = 0,059 \lg \frac{111,2}{2,25 \cdot 10^{-7}} = 0,51 \text{ (В)}$$

Отже, підсумовуючи, можна припустити, що такого типу паливний елемент може виявитись ефективним джерелом енергії. Він простий за соєю конструкцією, а паливо доступне і розповсюджене. Такий елемент живлення може знайти застосування в техніці, яка працює, наприклад, в польових умовах, або ж для неї бажаним є батарейне живлення, внаслідок вимог до низького рівня завад.

#### Література

Електрохімічний електролізер водяної пари. Гончарук В.Л., Троц А.А., Троц М.А., Янів В.Г. / Вісник університету «Україна». Серія «Сучасні інженерні Технології. №1(16). 2013 р. – С 116-122.

Фатеев В.Н., Фридман А.А., Баранов И.Е. / Электрохимия. 1994. Т. 30. С. 1256.

Mahlendorf F., Peinecke V., HEINZEL a., Ledjeff R. // Proc. of 18th Int. Power Sources Symp. Strafford-upon-Avon.: Leaterheard. 1993. P. 273.

Каталитический слой для обратимой ячейки электролизер-топливного элемента на основе твердого полимерного электролита. М.А. Цыпкин: дис. Кандидат химических наук: 20.00.05 – Электрохимия. Москва, 2000, 155 с.

Смирнова Е.В., Кошель Н.Д. Влияние носителя платинового катализатора на характеристики кислородно-водородного мембранного топливного элемента // Вопр. Химии и хим. технологии.–2013.–№ 2.– С. 134-138.

Чеботин В.Н. Электрохимия твердых электролитов / В.Н. Чеботин, М.В. Перфильев – М.: Химия, 1978 – 312 с.

## МОБІЛЬНИЙ АНАЛІЗАТОР ЯКОСТІ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕНІ

Крот Ю. Ю.

(Науковий керівник Нікітчук А. В., асистент)

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,  
Радіотехнічний факультет

Якість повітря всередині приміщень будівлі є наслідком ряду факторів, які включають якість зовнішнього повітря, конструкцію системи вентиляції, а також джерела шкідливих речовин всередині приміщень.

Джерела генерування шкідливих речовин можуть бути зовнішніми або внутрішніми. До зовнішніх джерел відносяться атмосферні забруднення від промислових процесів згоряння, автомобільного руху, електростанцій тощо. Серед джерел внутрішнього забруднення можна вказати на ті, що пов'язані з системами вентиляції, матеріали, використані при будівництві і обробці будівлі, а також мешканці будинку.

Оцінка якості повітря всередині приміщень, серед інших чинників, містить вимір і визначення шкідливих речовин, які можуть бути присутніми в приміщенні. Для контролю якості, можна використати аналізатор повітря, який входить до системи «інтернету речей». Він використовує кілька індикаторів для з'ясування якості повітря всередині будівлі. Вони визначають концентрації монооксиду вуглецю, загальної кількості летких органічних сполук, зважених часток (PM 2.5), а також температуру і відносну вологість. Структурна схема цього пристрою представлена нижче (рис. 1):

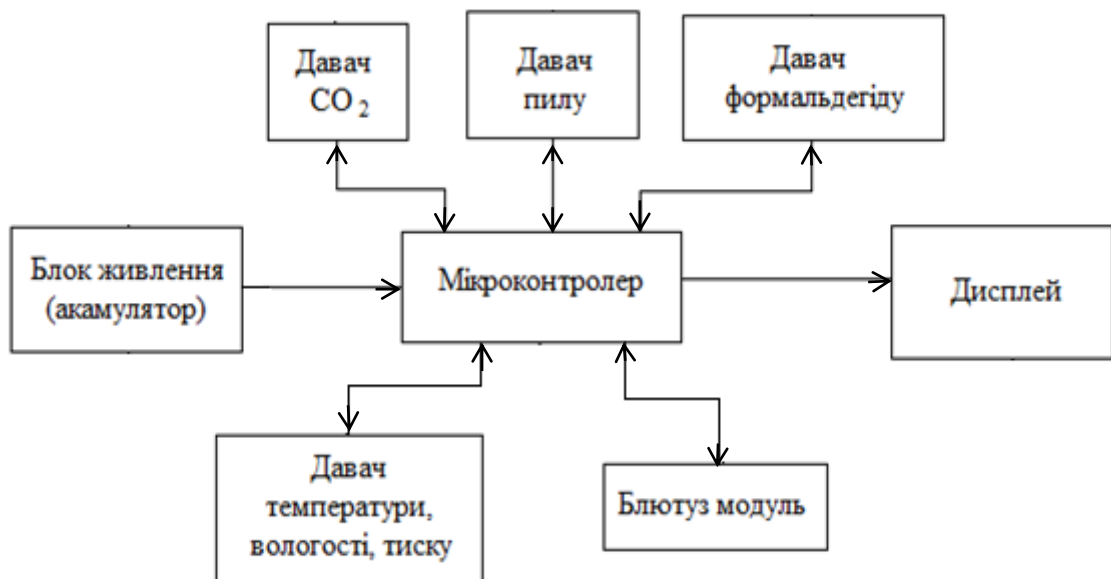


Рис. 1. Структурна схема пристрою

### III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті

Даний аналізатор повітря оснащений чотирма незалежними давачами, для вимірювання показників якості повітря в приміщенні. Кожен давач збирає інформацію, про стан навколишнього середовища та відправляє показники до мікроконтролера Arduino Nano. Він в свою чергу встановлює, чи мають показники допустимі значення концентрації газів, температури і вологи, а також запиленості приміщення. Наприклад несвоєчасне виявлення чадного газу, несе такі наслідки (див. табл. 1):

Таблиця 1

Вплив чадного газу на людину

CO мг/м <sup>3</sup>	Час впливу	Основні ознаки та симптоми отруєння
≤100	3,5-5 год.	збільшення кровотоку до життєво важливих органів, біль в грудях при навантаженні
220-800	2 год.	Головний біль, запаморочення, дратівливість, розлад пам'яті, нудота
1100-1800	0,5-1,5 год.	Галюцинації, важка атаксія, тахікардія
2000-11500	15 хв.	Кома, конвульсії, погіршене дихання
14000	1-3 хв.	Втрата свідомості, конвульсії смерть

Далі вся зібрана інформація з приладу, йде до сервера, через блютуз модуль (НС-05), де повідомляється користувачеві, через мобільний додаток.

Також прилад може працювати автономно, не будучи підключеним до загальної мережі. Задля полегшення сприйняття інформації, користувачу не доведеться аналізувати цифрові значення результатів вимірів [1]. Про стан якості повітря повідомляє інтуїтивно зрозуміла світлова індикація (зелений, жовтий та червоний кольори).

Вбудований сенсор освітлення автоматично налаштовує яскравість дисплея під ступінь освітленості приміщення, щоб вночі пристрій не потурбував сон. Також доступна сенсорна кнопка, що дозволяють швидко перемикатися між екранами. Переглянути повну історію показників можна прямо на дисплеї, достатньо всього лише натиснути на кнопку і пристрій виведе рівень, оцінку, кількісні дані, прямо на екран.

Даний пристрій створений для того, щоб захистити користувача від шкідливих впливів різних факторів навколишнього середовища, забезпечуючи при цьому кращу функціональність у порівнянні з аналогами.

#### Література

1. Інформаційний портал «Допомога по ГОСТам» [Електронний ресурс]. Доступ за посиланням: <http://www.gosthelp.ru/text/gn21669598predelnodopusti.html> (останній вхід 29.04.2020.)

**ПЕРСПЕКТИВИ, ПРОБЛЕМИ ТА ПОТРЕБИ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ  
МОНІТОРИНГУ ІНТРАКРАНІАЛЬНОГО ТИСКУ**

*Лисичина С. В.*

*(Науковий керівник Овчаренко Г. Р., старший викладач)*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,*

*Факультет біомедичної інженерії*

Внутрішньочерепна гіпертензія є частою причиною післяопераційних ускладнень та смерті в пацієнтів, які перенесли хірургію центральної нервової системи [1, 2].

Можливість контролю внутрішньочерепного тиску (ВЧТ) травмованого або хворого пацієнта вже давно мала важливе діагностичне значення в медичній професії. У ряді досліджень доведено, що динамічний моніторинг інтракраніального тиску протягом певного періоду після операції сприяє швидкому та вчасному втручання в разі погіршень стану. Водночас довготривалий моніторинг ВЧТ після виписки пацієнта проводять вкрай рідко [3], хоча він має прогностичну цінність для запобігання та прогнозування ускладнень [4].

Наразі для контролю внутрішньочерепного тиску не існує загальноприйнятих принципів та інструкцій, тому показання та методики для його контролю переважно залежать від лікувальних закладів [2].

Усі методи моніторингу внутрішньочерепного тиску розділяються на інвазивні та неінвазивні. «Золотим стандартом» є інвазивний моніторинг внутрішньошлуночкового тиску. Однак дана процедура має ряд протипоказань, вимагає наявності нейрохірургічного відділення і може призводити до інфекційних і геморагічних ускладнень [5].

До сучасних методик неінвазивного моніторингу інтракраніального тиску можна віднести: рентгенологічні методи, комп'ютерну томографію, магнітно-резонансну томографію, ультразвукові методики, венозну офтальмодінамометрію, пупіллометрію, а також отоакустичні методи, біоімпедансометрію, інфрачервону та короткохвильову термографію головного мозку, нейроофтальмологічні та нейрофізіологічні методики з викликаними потенціалами [2, 5].

Кожен із згаданих методів має власну специфіку дії та точність діагностики. Їх перевага в порівнянні з інвазивною методикою полягає в вищій мобільності, відсутності потреби хірургічного втручання в організм та кращій доступності. Але всі ці методи для вимірювання інтракраніального тиску потребують великогабаритних приладів і кваліфікованих спеціалістів.

З вище вказаного можна зробити висновок, ці прилади не придатні для систематичного моніторингу ВЧТ пацієнта в повсякденному житті, коли він вже може займатись рутинними справами, але можливі повторні крововиливи

### III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті

та інші ускладнення. На основі аналізу основних тенденцій можна резюмувати, що існує очевидна потреба у бездротовій неінвазивній системі моніторингу внутрішньочерепного тиску [6].

Система має відповідати наступним вимогам: бути простою, компактною, бездротовою, неінвазивною, надійною та здатною ефективно функціонувати протягом тривалого періоду та за різних умов, не викликати суттєвого дискомфорту чи ризику для пацієнта, забезпечувати своєчасне передання значення ВЧТ пацієнта. Керуючись основними вимогами, наведеними вище, було розроблено узагальнену блок-схему майбутньої системи, наведену на *рис.1.*



Рис. 1. Узагальнена блок-схема системи моніторингу ВЧТ

У ході роботи системи має здійснюватися оклюзія яремної вени з встановленими інтервалами, після чого значення тиску в ній фіксуватиметься п'єзорезистивним датчиком і дані за допомогою NFC-чіпа передаватимуться на дистанційний блок обробки та запису.

Використання системи такого типу може допомогти в оперативному виявленні прогресуючих уражень мозку, своєчасному наданні медичної допомоги та мати вирішальне значення в післяопераційному лікуванні мозкових крововиливів.

#### Література

1. Гарматина О. Ю. Оценка гемодинамики головного мозга при его хронической ишемии по показателям перфузионной компьютерной томографии/ О. Ю. Гарматина, О. П. Робак, В. В. Мороз// Клінічна хірургія. – 2017. - № 4. – С. 39-42.
2. Остапенко Б.В. Современные методики мониторинга внутричерепного давления/ Б.В. Остапенко, В.Б. Войтенков, Н.В. Марченко, Н.В. Скрипченко, Ю.П. Васильева, А.В.// Медицина экстремальных ситуаций. – 2019. - № 21(4). – С. 472–485.
3. YU S.-X. Continuous monitoring of intracranial pressure for prediction of postoperative complications of hypertensive intracerebral hemorrhage/ S.-X. YU, Q.-S. ZHANG, Y. YIN, Z. LIU, J.-M. WU, M.-X. YANG// European Review for Medical and Pharmacological Sciences. – 2016. - № 20. – С. 4750-4755.
4. A Multicenter Observational Study. Prediction Score for Postoperative Neurologic Complications after Brain Tumor Craniotomy/ A Multicenter Observational Study// Anesthesiology. – 2018. - №129. – С. 1111 – 1120.
5. Горбачев В.И. Мониторинг внутричерепного давления: настоящее и перспективы/ В. И. Горбачев, Н.В. Лихолетова, // Обзоры. – 2013. - № 4. – С. 69-78.
6. Kawoos U. Too Much Pressure/ U. Kawoos, X. Meng, M.Tofighi, A. Rose// IEEE microwave magazine. – 2015. - № 3. – С. 39-53

## ЕЛЕКТРОННЕ ТАБЛО З ВІДДАЛЕНИМ КЕРУВАННЯМ

Мальцев М. О.

(Наукові керівники Мирончук О. Ю., асистент, Нікітчук А. В., асистент)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,

Радіотехнічний факультет

У наш час розвиток електроніки і пов'язаних із нею технологій відбувається дуже швидкими темпами. Важливу роль у житті сучасного суспільства займають пристрої виведення інформації, розробка і модернізація яких є актуальним завданням.

Використовуючи ідею про бездротове керування віддаленими пристроями, було розроблено електронне табло з віддаленим керуванням. Табло представляє собою великогабаритний лайтбокс, який має вигляд і функціонує як два великих семисегментних індикатори. Керування індикаторами реалізовано як через дротове підключення, так і по бездротовому каналу зв'язку з використанням смартфона. Світлова індикація сегментів реалізована на основі RGB – світлодіодної стрічки. Структурна схема пристрою представлена на Рис. 1.

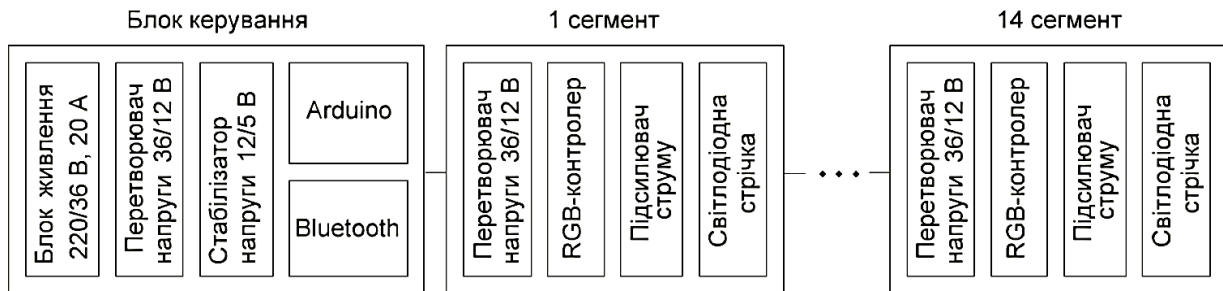


Рис. 1. Структурна схема пристрою

Табло живиться від мережі 220В. Як видно з Рис.1, блок керування містить АС/DC перетворювач 220/36 який забезпечує постійну напругу 36В на шині живлення усіх сегментів. В блоці керування напруга живлення 36В прямує до перетворювача напруги 36В в 12В, далі на стабілізатор напруги лінійного типу, який забезпечує на виході 5В для живлення модулів Arduino NANO і Bluetooth HC-05.

Сегменти отримують команди від блоку керування. Після розшифрування інформаційних посилок, що приходять на кожну із 14 мікросхем WS2811 (RGB-контролер), формуються сигнали для керування світлодіодною стрічкою. Сформовані сигнали поступають на підсилювач струму і далі на стрічку.

Використовуючи спеціальних додаток на смартфоні, задається колір освітлення та вибирається певний режим анімації обраних для засвічування сегментів. Ці дані відправляються на модуль Bluetooth HC-05, який знаходиться у керуючому блоці. Отриману інформаційну посилку модуль Bluetooth HC-05

передає на мікроконтролер плати Arduino NANO, а той, в свою чергу, використовуючи вбудовану програму представляє цю інформаційну посилку як код для семисегментного індикатора. Сформований код передається на керуючі мікросхеми кожного сегменту. На Рис. 2 показано блок схему програми управління модулем Arduino NANO.

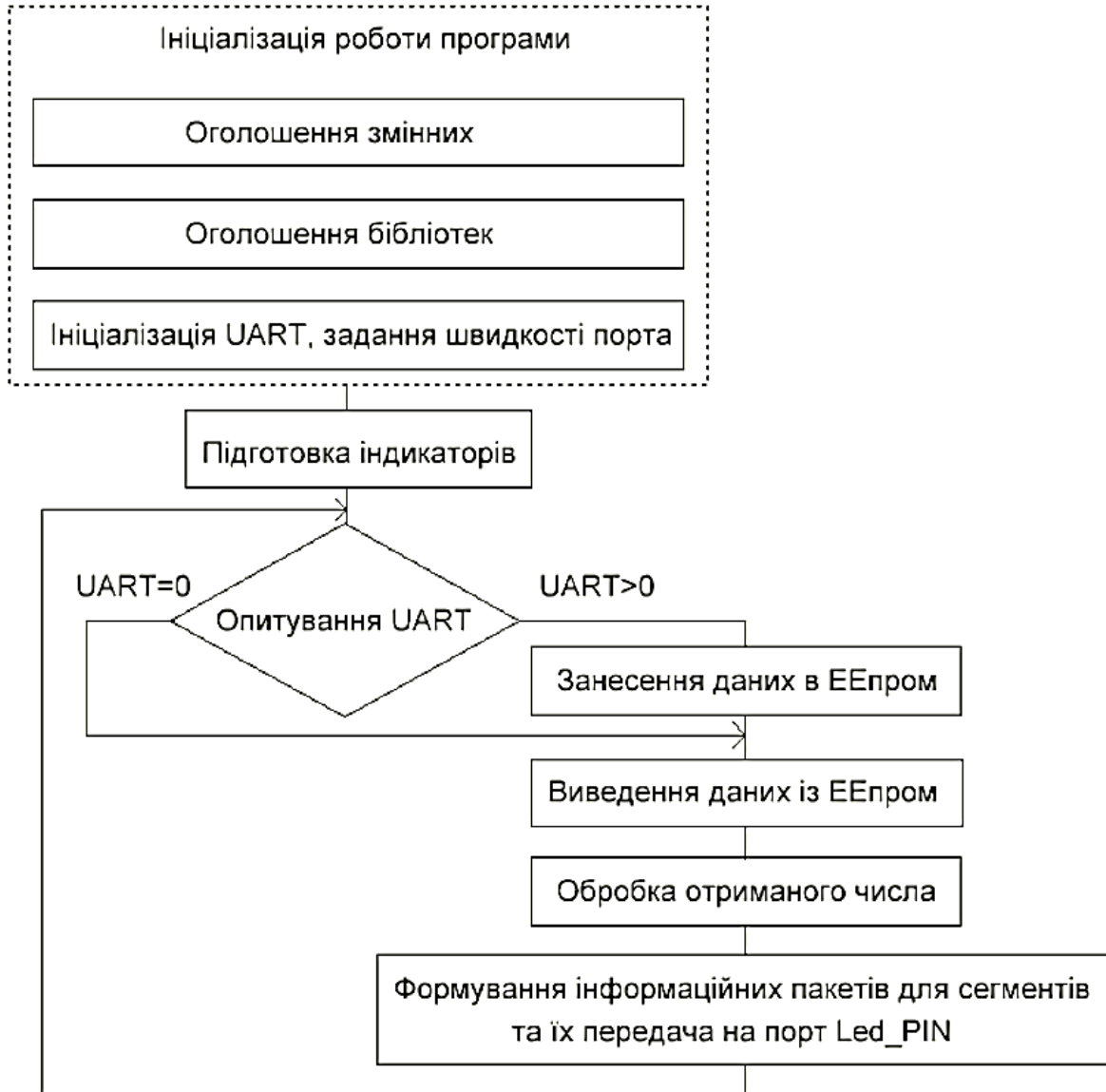


Рис. 2. Алгоритм програми керування

Використовуючи даний спосіб керування потужними лайтбоксами можна суттєво зменшити вартість всього приладу як на етапі розробки так і в подальшому обслуговуванні, забезпечивши при цьому високу функціональність.

#### Література

1. HC-05 Bluetooth Module User's Manual [Електронний ресурс]: [посібник для використання модулів Bluetooth серії HC]./ компанія Arduino // Режим доступу — <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.772-148.1.pdf> — Назва з екрана.



## ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИЙ ТВЕРДОЕЛЕКТРОЛІТНИЙ ГЕНЕРАТОР КИСНЮ

Степанюк О. О.

(Науковий керівник Богомолов М. Ф., доцент)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Факультет біомедичної інженерії

Запропоновано технічний проєкт добування кисню високої концентрації (99,9%) з повітря методом високотемпературного електрохімічного електролізу з використанням високотемпературних твердих електролітів [1,2].

Метою роботи є розробка високоефективного генератора кисню високої чистоти за допомогою методу електрохімічного електролізу безпосередньо з повітря для виробництва радіоелектронних пристроїв.

Генератор кисню складається з двох електролітних дисків у вигляді пробірок з електродами, що мають виводи на поверхні, та провідної трубки з капіляром, з'єднаним з каналом подачі кисню (рис. 1).

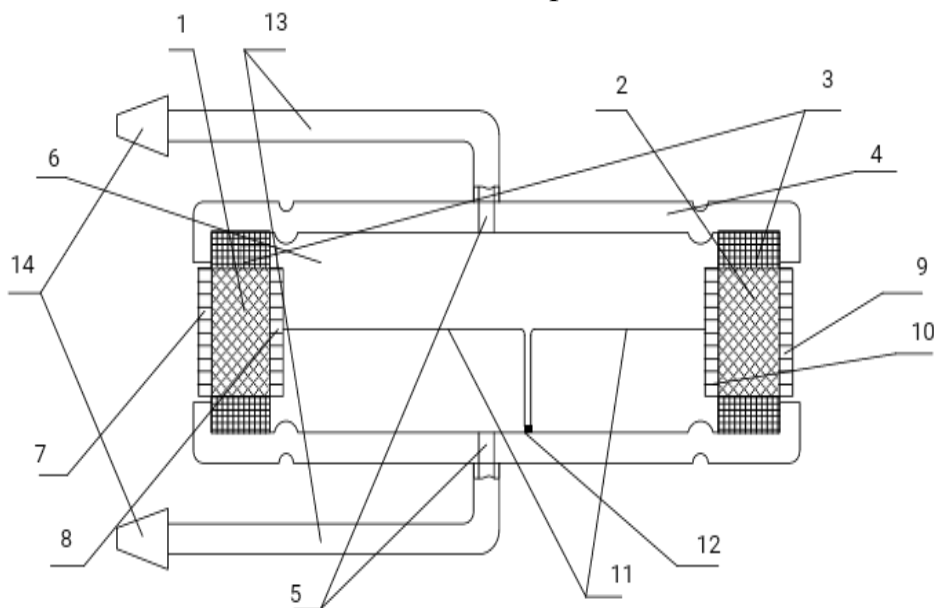


Рис. 1. Конструкція чутливого елемента: 1,2 – твердоелектролітні диски; 3 – демпфуючий матеріал; 4 – електропровідна трубка; 5 – капіляр; 6 – опорний газовий простір; 7,9 – електроди; 8,10 – струмоводи; 11 – виводи; 12 – припой; 13 – канали відведення кисню; 14 – пристрій з'єднання

Принцип роботи генератора. При підведенні напруги живлення до електроду 7 і струмовідводу 8 відбувається перезарядження подвійного електричного шару та дозування кисню. На негативно зарядженому електроді 7 відбувається дисоціація молекулярного кисню на атоми, їх іонізація, що протікає на межі трьох фаз: твердоелектролітного диску 1, негативно зарядженого електроду 7 та газового середовища. Під дією електричного поля

### III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті

виникає дифузія кисню через твердий електроліт до позитивно зарядженого струмовідводу 8. На ньому іони кисню звільнюються від надлишкового заряду і відновлюються до молекулярного кисню, підвищуючи концентрацію кисню в опорному газовому просторі. Після подачі кисню, об'єм якого дорівнює 8–10 об'ємам опорного газового простору, середовище газового простору повністю заповнюється киснем, утворюючи 100%-й електрод порівняння. При подачі газу молекули кисню контактують з вимірювальним електродом 9 потенціометричної електрохімічної зони, адсорбуються на його поверхні. Потім відбувається дисоціація молекулярного кисню на атоми і їх іонізація на межі поділу твердоелектролітного диска 2, вимірювального електроду 9, газового середовища. Утворені іони кисню, під дією різниці хімічних потенціалів між електродами 9 і 10, утворюють рівноважний стан потенціометричної електрохімічної зони.

В результаті між електродами виникає е.р.с., що визначається рівнянням Нернста[3]:

$$E = \frac{RT}{nF} \ln(p_0^n / p_0^b), \quad (1)$$

де  $E$  - е.р.с. Нернста,  $R$  – газова стала,  $T$  – температура,  $n$  – кількість електронів, необхідна для іонізації однієї молекули кисню,  $F$  – стала Фарадея,  $p_0^n$  – парціальний тиск кисню в порівняльному газовому середовищі,  $p_0^b$  – парціальний тиск кисню в вимірювальному газовому середовищі.

Із (1) визначається

$$p_0^b = p_0^n \exp\left(-\frac{RT}{EnF}\right),$$

де  $p_0^n$  – 21,6 % (парціальний тиск кисню у повітряній атмосфері).

Запропонований генератор можна використовувати для отримання і виміру кисню, наприклад, контролю поточної атмосфери в побутових і технічних приміщеннях, в харчовій промисловості, в медицині. [1,2]

Отже, з метою практичного використання результатів досліджень був розроблений електрохімічний генератор кисню з повітря. Чистота отриманого кисню (99,9 % об., кисень належить до категорії надчистого) дозволяє використовувати цей прилад для виробництва кисню надвисокої чистоти.

#### Література

1. Патент України № 13376. Електрохімічний датчик / Таланчук П.М., Голубков С.П., Троц А.А.; заявл. 22.10.91.; опубл. 28.02.97.; Бюл. № 1
2. Патент України № 34543А. Електрохімічний датчик / Таланчук П.М., Герман М.С., Троц А.А. та інші; заявл. 05.02.98., опубл. 15.03.2001.; Бюл. № 2
3. Електрохімічний електролізер водяної пари / В.Л. Гончарук, А.А. Троц, М.А. Троц, В.Г. Янів // Вісник університету «Україна». Серія «Сучасні інженерні технології. – 2013. – № 1(16). – С. 116–122.

## ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ СТИМУЛЯТОР БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ТОЧОК ЛЮДИНИ

Тимофєєв Д. В.

(Науковий керівник Богомолов М. Ф., доцент)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Факультет біомедичної інженерії

Метод лазерної стимуляції біологічно активних точок на тілі людини показує себе ефективним фізіотерапевтичним способом впливу. Терапія має системний ефект, нормалізує і активує благотворні процеси в організмі, такі як стимуляція трофіки і регенерація тканин, клітинного імунітету; бактеріостатична, розсмоктуюча та протизапальна дія; регенерація нерва, болезаспокійлива, гіпотензивна та інші дії [1]; згадується також ефективність лазерної акупунктури для зміни активності ферментів у хворих на цукровий діабет [2].

Сутність методики полягає в активації біологічно активних зон за допомогою впливу на них низькоінтенсивного лазерного випромінювання. Говорячи про локальний неінвазивний лазерний вплив, розрізняють контактну і контактнo-дзеркальну методики впливу, коли випромінююча голівка знаходиться в контактi з опромінюваною поверхнею, а також дистантну (неконтактну) методику, при якій є простір між випромінюючою голівкою і поверхнею, яка опромінюється. Дані методики зображені на рис. 1.

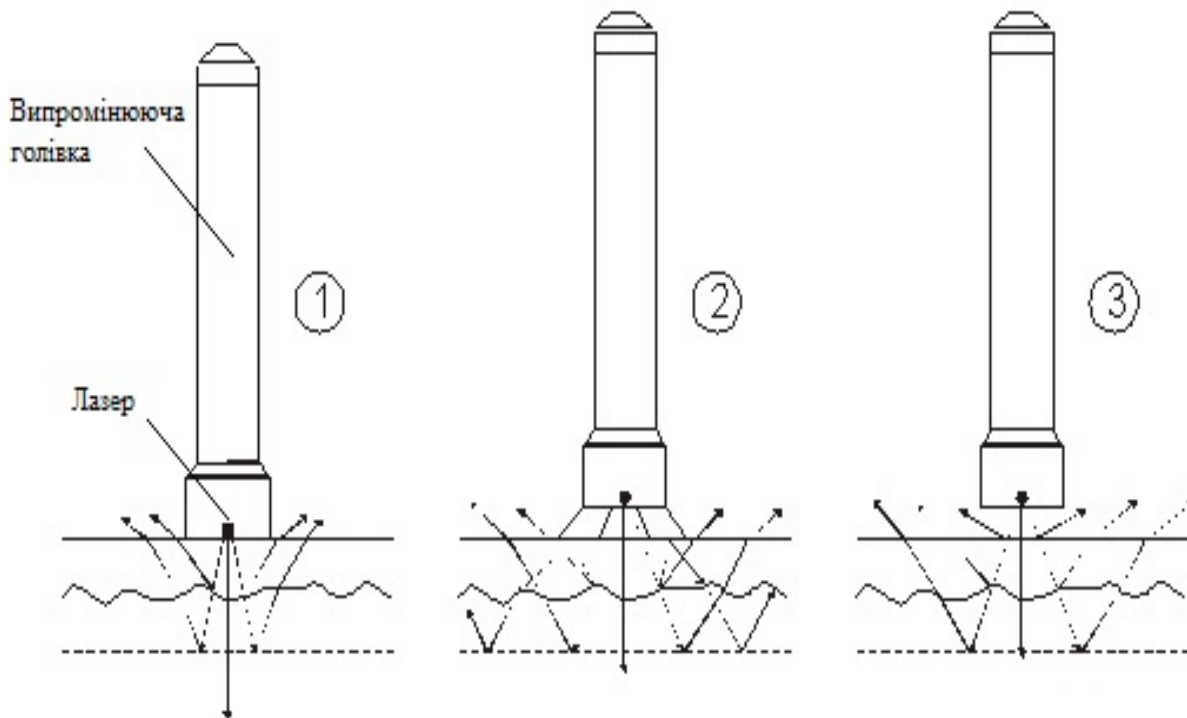


Рис. 1. Методики лазерної терапії: 1 – контактна, 2 – контактнo-дзеркальна, 3 – дистантна

### *III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті*

Для лазеропунктури поверхнево розташованих точок застосовують випромінювання червоного спектру (635-685 нм), а для розташованих глибше – інфрачервоного спектру (750-850 нм). Крім того, вплив може надаватися на аурикулярні або корпоральні точки. Аурикулярні точки розташовані на вушній раковині, їх стимуляція призводить до збудження або заспокоєння певних зон організму. Корпоральні точки знаходяться безпосередньо на шкірному покриві, і вони також мають рефлексогенний зв'язок з певними органами або структурами тіла. Параметри лазерного випромінювання і тривалість процедури для зазначених точок різні. Випромінювання низької інтенсивності надає тонізуючу дію, а високо інтенсивне – пригнічує активність органів і систем, заспокоює нервову систему. Таким чином, зазвичай для ефектів активації зон в приладах використовують потужності пучка від 4 до 10 мВт, для придушення активності зон – 20-40 мВт.

Відомі використовувані в сучасних реаліях апарати для такої фізіотерапії – зазвичай спадщина радянських розробок. Раніше випускалися окремі установки для стимуляції різних зон, технічні пристосування з різними показниками терапевтичних дозувань. Недоліками всіх таких приладів на сьогоднішній день є мала мобільність, видоспецифічність випромінювання, а також потреба в дротовому живленні від високовольтного джерела. Для удосконалення даної методики і технології пропонується ряд інженерних рішень. По-перше, необхідною умовою для полегшення роботи медичного персоналу є вбудований в апарат пристрій пошуку біологічно активних точок. По-друге, в поточних умовах необхідна мобільність і малогабаритність приладу, що також включає в себе позбавлення від потреби використовувати дротове живлення апарату. По-третє, потрібно забезпечити пристрій змінними насадками і можливістю вибору необхідних значень потужності і довжини хвилі лазерного випромінювання червоного та інфрачервоного діапазонів для досягнення бажаного терапевтичного ефекту.

Отже, дослідницько-інженерна робота полягає у розробці певних зазначених удосконалень апарату для лазерного опромінення біологічно активних зон. Запропоновані рішення забезпечать новий якісний рівень даної технології, який відповідає всім сучасним технічним течіям і стандартам.

### **Література**

1. Москвин С.В., Агасаров Л.Г. Лазерная акупунктура: основные принципы, методические подходы и параметры методик // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2019. №1. Публикация 3-6.
2. Лазерные технологии воздействия на биологически активные точки для коррекции измененной активности ферментов при экспериментальном сахарном диабете / Н. М. Орёл [ и др.] // Доклады БГУИР. - 2016. - № 7 (101). - С. 95-99.

## ЛАЗЕРНИЙ ПОЛЯРИМЕТР ЗІ СТАТИЧНИМ АНАЛІЗАТОРОМ ДЛЯ ГЛЮКОМЕТРІЇ

Цвілюк Д. А., Федорова Р. М.

(Наукові керівники Богомолів М. Ф., к.т.н., доцент,  
Білошицька О. К., ст. викл.)

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
Факультет біомедичної інженерії

При розробці неінвазивного глюкометра для постійного використання, виникає необхідність досягати максимально можливої портативності. Попри наявність існуючих методів, котрі можна було б застосувати при проектуванні такого приладу, їх втілення в компактному розмірі або недоцільне, або призводить до зниження точності та ефективності.

За мету було поставлено розробку основної складової приладу (рис. 1) для неінвазивного вимірювання глюкози в крові. Було обрано метод оптичної поляриметрії. Основним завданням було позбавлення від повороту аналізатора, що дозволить створити портативний прилад для безперервного моніторингу.

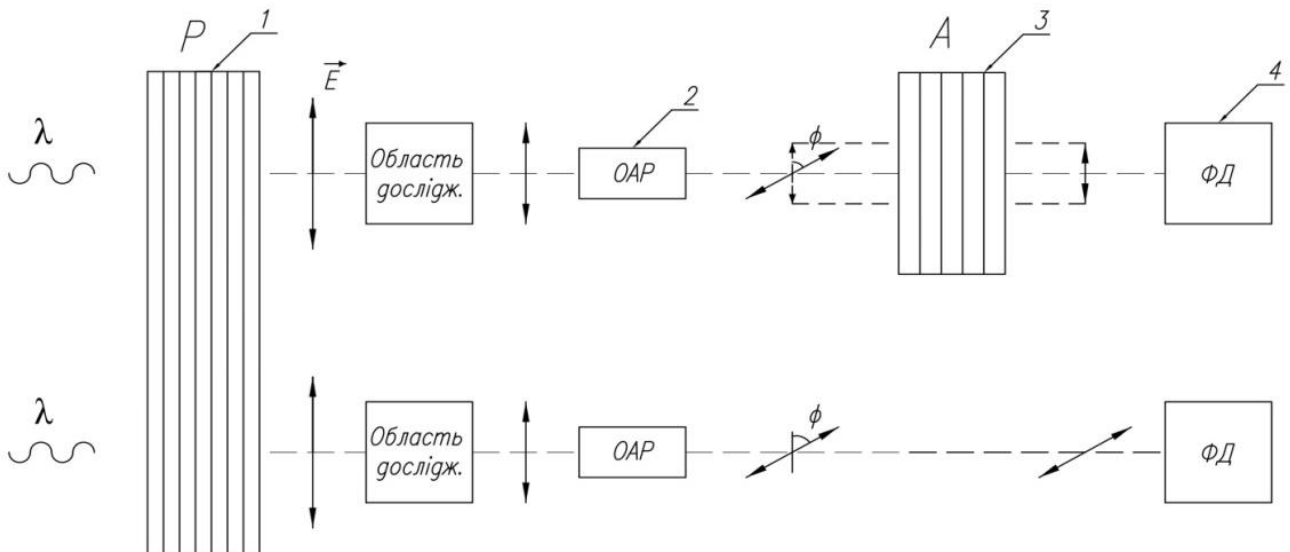


Рис. 1. Поляризаційна оптична схема

При проходженні лінійно поляризованого світла певної довжини хвилі через оптично активне середовище, останнє буде впливати на напрям розповсюдження напруженості електричного поля світлової хвилі, повертаючи його на певний кут  $\phi$ . Величина даного кута є прямо пропорційною до величини концентрації активної речовини на шляху проходження променя.

Лазерне випромінювання проходить через поляризатор 1, після цього вже лінійно поляризоване світло входить в об'єкт дослідження, де активна речовина 2 змінює орієнтацію коливань вектора напруженості. Далі промінь втрачає

### III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті

частину інтенсивності на аналізаторі 3 через те, що крізь нього проходить лише вертикальна складова електричного поля хвиль. Фотодетектор 4 приймає залишкову інтенсивність. Для того, щоб мати змогу визначити кут  $\varphi$ , а також не враховувати поглинання інтенсивності об'єктом дослідження чи іншими перешкодами, використовується паралельний канал, що має такий самий вигляд як і перший, за виключенням наявності аналізатора. Відношення величини інтенсивності променя, падаючого на фотодетектор першого каналу до другого дорівнює квадрату косинуса кута  $\varphi$ . Величина даного кута пов'язана з інтенсивністю хвилі законом Малюса. Розрахувати концентрацію будь-якої речовини за допомогою даної схеми можна за допомогою формули:

$$C = \frac{\arccos \sqrt{\frac{I_1}{I_2}}}{\alpha_\lambda \times L}$$

де  $C$  - концентрація шуканої речовини,  $I_1, I_2$  - інтенсивності променів, падаючих на фотодетектори першого та другого каналів,  $\alpha_\lambda$  - коефіцієнт питомого обертання на довжині хвилі  $\lambda$ ,  $L$  - довжина зразка.

Варто зазначити, що оброблені фотоелектричні сигнали дають сигнал, пропорційний вимірюваному куту  $\varphi$ , але не залежному від коефіцієнта пропускання об'єкта. Останнє важливо, так як досліджувані об'єкти можуть змінювати коефіцієнт пропускання, зокрема, при зміні області вимірювання. [1] Це говорить про універсальність приладу, можливість використання різними людьми без додаткового калібрування.

Як результат, маємо збільшення точності вимірювання, зменшення розмірів приладу та зниження його вартості. Звичайно, таку поляриметричну схему можна використовувати і для створення лабораторного поляриметра, проте перераховані в даній роботі переваги схеми матимуть найбільш ефективний вплив саме на розробку глюкометра з безперервним моніторингом.

#### Література

1. Аксенов Е. Т. Контроль концентрации глюкозы в биотканях методом когерентной оптической поляриметрии / Е. Т. Аксенов, Г. О. Кафидова, Д. В. Мокрова, В. М. Петров // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. - № 4. – с. 102-108.

## МЕТОД ФУР'Є-СПЕКТРОСКОПІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БІОТКАНИН

Чапля Д. В

(Науковий керівник Богомолов М. Ф., доцент)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Факультет біомедичної інженерії

Спектроскопія в інфрачервоному діапазоні (ІЧ-спектроскопія) є одним із широко використовуваних методів для дослідження в різних сферах людської діяльності. У роботі представлено переваги методу Фур'є-спектроскопії у дослідженні біотканин. Для визначення біохімічного складу тканин пропонується отримувати їх спектри поглинання в ІЧ-діапазоні [1]. На рис 1 зображено принцип роботи спектроскопа.

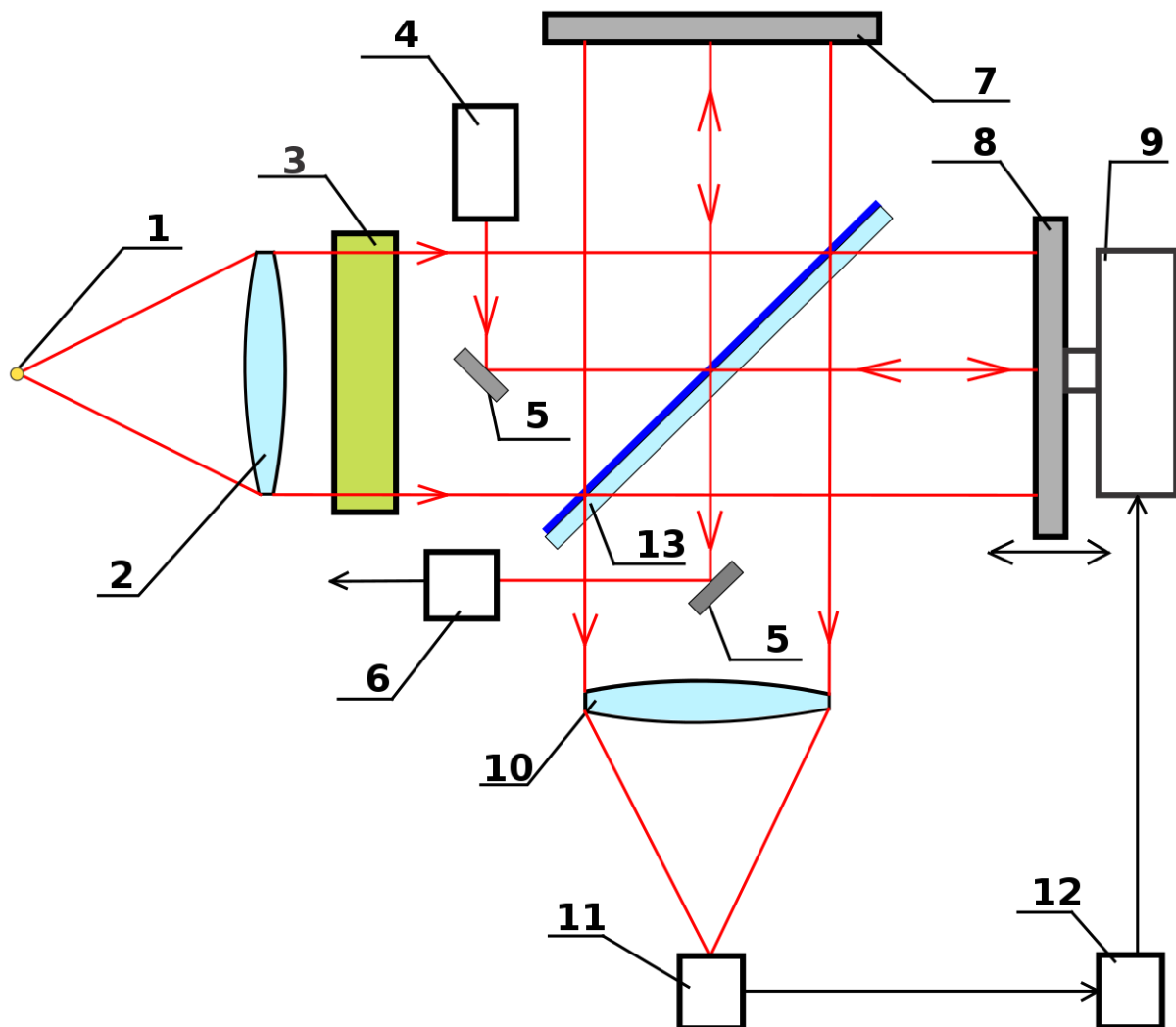


Рис. 1. Блок-схема пристрою для отримання спектрів

### *III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті*

Від джерела інфрачервоного випромінювання (1) певного діапазону довжин хвиль світло розбивається на два пучки та потрапляє на коліматорну лінзу (2). Після проходження через кювету з досліджуваною речовиною, (3) світло потрапляє на світлорозподільну пластину (13), виконану з полімерних плівок (в залежності від довжини хвилі лазера), для створення різниці оптичних довжин шляхів (інтерференційна схема Майкельсона). Частина світла, що проходить крізь пластину, потрапляє на рухоме дзеркало (сканер) (8), відбита ж частина потрапляє на нерухоме дзеркало. Відбите від дзеркал світло інтерферує та отримана складна інтерференційна картина фіксується фотоприймачем (10 – об'єктив фотоприймача, 11 – фотоприймач). Комп'ютер (12) керує механічним приводом рухомого дзеркала (9), зчитує дані з фотоприймача, проводить зворотнє перетворення Фур'є для інтерферограми, отримуючи спектр поглинання зразка. Система калібрується за допомогою опорного (HeNe) лазера (4 – лазер, 5 – допоміжні зеркала, 6 – фотоприймач лазера).

З отриманих спектрів поглинання роблять висновки про якісний і кількісний склад досліджуваного зразка. Отриманий спектр – це складна крива з великим числом максимумів і мінімумів. Смуги поглинання з'являються в результаті переходів між коливальними рівнями основного електронного стану досліджуваної системи. Спектральні характеристики (положення максимумів смуг, інтенсивність) молекули залежать від маси її складових, будови, особливостей міжатомних сил, розподілу заряду, тощо. Тому спектри отримані в інфрачервоному діапазоні характеризуються високим рівнем індивідуальності, що і визначає їх цінність при ідентифікації і вивченні будови сполук, особливо органічних [3].

Основними перевагами Фур'є-спектроскопії є швидкість дослідження та енергетичні переваги Жакіно і Флежета. Перевага Жакіно базується на тому, що у Фур'є-спектроскопії можна використовувати великі тілесні кути і у джерела, і у приймача, тим самим пропускати велику кількість енергії при високій роздільній здатності. Перевага Флежета базується на тому, що у Фур'є-спектроскопії дослідження може одночасно проводитись відразу на всіх частотах спектрального інтервалу, тому цей метод має кращу характеристику сигнал / шум, ніж дифракційні або призматичні прилади [1].

Можливість отримання інформації про присутність в зразку тих чи інших функціональних груп дозволила використовувати інфрачервону спектроскопію в медичних цілях як інструмент вивчення біохімії тканин. ІЧ-спектроскопія найбільш чутлива до структури та концентрації макромолекул (білків, ДНК). Це обмежує використання цього методу для виявлення невеликих молекул, що мають низьку концентрацію в клітинах.

Зміни в ІЧ-спектрах біологічних матеріалів свідчать про патології, пов'язані з порушенням біохімічного складу зразка. Наприклад, ракові зміни часто пов'язані з присутністю кількох ядер в клітині. Відповідно, інфрачервона спектроскопія показує діагностичні зміни, пов'язані з посиленням поглинання тієї частини спектру що характерна для нуклеїнових кислот [2].



### *III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті*

За методологією дослідження, біологічні рідини вивчаються в об'ємі 5-10 мкл методом пропускання через вікно з  $CaF_2$  або  $BaF_2$ . В разі потреби з одержуваних спектрів математично віднімається спектр молекули води. Також воду можна видалити висушуванням зразка і вивчати залишок у вигляді тонкої плівки. Недоліком цього методу є можливість втрати інформації про складові речовини, що легко випаровуються, рівень гідратації зразка. Аналогічним чином досліджують спектри біотканин, беруть зразки об'ємом близько 1 мм<sup>3</sup>.

Збір та інтерпретація даних можливі або класичним методом (вивчення інтенсивності характеристичних смуг поглинання за спектрами), або шляхом побудови просторових карт інтенсивності частот. В останньому випадку використовується інфрачервоний мікроскоп, що дозволяє фіксувати спектри послідовно із заданих точок зразка, а потім відобразити результат у вигляді тривимірного графіка. Перевагою такого методу дослідження є універсальність приладу: вивчення широкого спектру порушень в різних тканинах не вимагає серйозної перебудови конфігурації спектроскопа або використання спеціальних детекторів і реагентів.

Отже, в роботі було показано, що ІЧ-Фур'є спектроскопія є точним, неінвазивним, експрес-методом, що характеризується високою відтворюваністю результатів. В медицині цей метод широко використовується для вивчення біохімічного складу тканин, що дає змогу виявити їх патологічні зміни.

#### **Література**

1. Тонков М. В. Фурье-спектроскопия - максимум информации за минимум времени [Електронний ресурс] / М. В. Тонков // Русский переплет – Режим доступу до ресурсу: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/1156.html>.
2. Novel methodology for the follow-up of acute lymphoblastic leukemia using FTIR microspectroscopy [Електронний ресурс] / [J. Ramesh, J. Kapelushnik, A. Moser та ін.] // Journal of Biochemical and Biophysical Methods – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165022X02000040>.
3. Гордцов А. С. Инфракрасная спектроскопия биологических жидкостей и тканей [Електронний ресурс] / А. С. Гордцов – Режим доступу до ресурсу:
4. <https://cyberleninka.ru/article/n/infrakrasnaya-spektroskopiya-biologicheskikh-zhidkostey-i-tkaney>.

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ 5G

Яценко С. В.

(Науковий керівник Булашенко А. В., ст. викл.)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,

Радіотехнічний факультет

Технології мобільного зв'язку 5G повинні значно покращити якість обслуговування абонентів в умовах стрімко зростаючого об'єму даних, що передаються в мобільних мережах, а також в умовах зростання кількості безпроводних пристроїв. Для підключення та функціонування все більшої кількості пристроїв до Інтернету речей необхідно, щоб нова мережа мала наступні параметри [1-3]:

- підвищення пікової швидкості до 20 Гбіт/с по лінії вниз (тобто від базової станції до мобільної) та до 10 Гбіт/с в зворотному напрямку;
- зростання фактичної швидкості на абонента до 100 Мбіт/с і вище;
- підвищення спектральної ефективності в мережах 5G в 2-5 разів, а саме на лінії вниз: 30 біт/с/Гц, на лінії вгору – 15 біт/с/Гц;
- підвищення енергоефективності на 2 порядки, що дозволить пристроям «Інтернету речей» працювати без підзарядки акумулятора протягом 10 років;
- скорочення часової затримки на радіоінтерфейсі до 1 мс;
- збільшення швидкості руху абонента до 500 км/год;
- збільшення загальної кількості підключених пристроїв до 1 млн./км<sup>2</sup>

Порівняння технічних характеристик 4G та 5G показано на рис. 1 [4]:

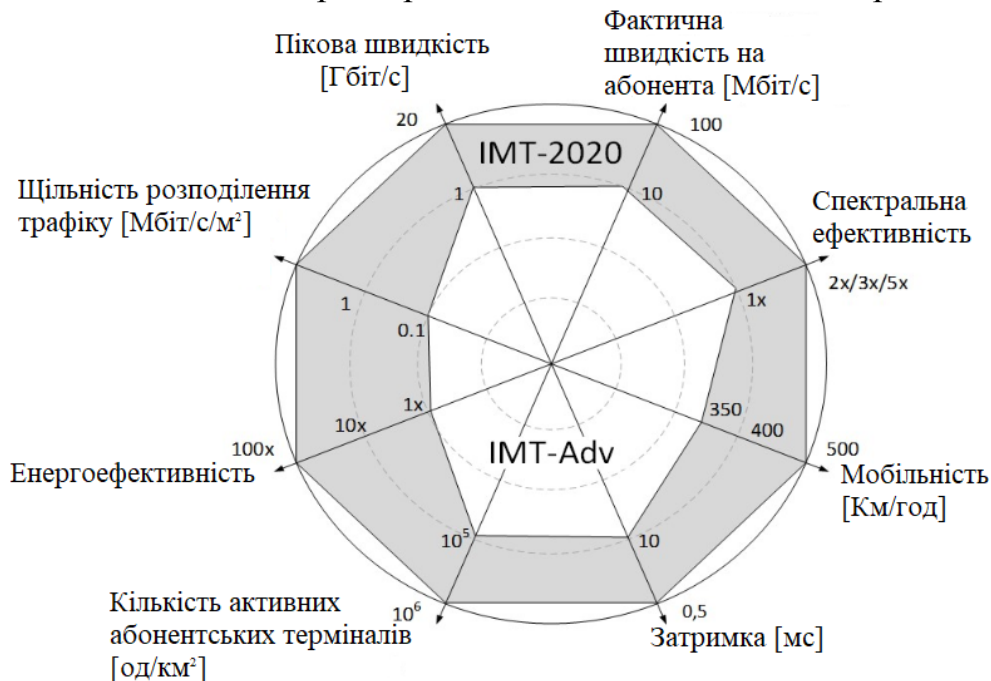


Рис. 1

### *III ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті*

Також, мобільна мережа 5G буде працювати на значно вищих частотах, ніж 4G, а саме в діапазоні від 24 ГГц до 100 ГГц.

Зі збільшенням частоти зменшується довжина хвилі, а відповідно і відстань, яку вона може подолати. Розробникам доведеться вибрати один з двох варіантів вирішення цієї проблеми. Перший – підвищити потужність передавачів, що є економічно не вигідно. Другий – збільшити кількість веж. У цьому випадку відстань між ними складатиме декілька сот метрів.

На сьогоднішній день ряд країн вже почали тестувати та вводити мобільну мережу 5G. Найбільша кількість веж з технологією 5G розташовані у Швейцарії, Південній Кореї та Кувейті (528, 181 та 144 відповідно) [5].

Десятки країн встановили вежі з технологією 5G. На жаль, України в їх числі немає. Згідно офіційній інформації, пробне тестування технології мобільного Інтернету та зв'язку в Україні проходить з 1 грудня 2019 року по 31 травня 2020 року в 6 містах України [6]: Київ – Бессарабська площа, 2 та вул. Антоновича, 176 (ТРЦ «Ocean Plaza»); Дніпро – бульвар Європейський, 2; Харків – вул. Ярослава Мудрого, 33а; Львів – проспект Свободи, 6/8; Одеса – вул. Дерibasівська, 19; Черкаси – вул. Смілянська, 36.

Функціональність базової станції на час тестування буде обмежена. Для тестування буде доступний тільки інтернет, без можливості здійснювати дзвінки. Після закінчення цих випробувань, компанія Ericsson надасть письмовий звіт з результатами тестування до Нацкомісії.

Отже, 2020 рік стане роком активного впровадження 5G по всьому світу за рахунок великих можливостей. Про це неодноразово заявляли такі компанії, як Xiaomi, Samsung, Huawei, Apple та інші.

#### **Література**

1. Булашенко А.В. Аналіз можливостей технологій 5G / А.В. Булашенко, Т.В. Маленчик // Матеріали IV Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 18 квітня 2019 року. – Суми : Сумський державний університет, 2019. — С. 166 – 168.
2. Булашенко А.В. Забезпечення дуже низьких затримок у стільниковій системі 5G на базі МЕС / А.В. Булашенко, В.А. Гнитецький // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 153 – 155.
3. Булашенко А.В., Гладун В.В. Забезпечення високої якості мережі 5G за допомогою технології D2D // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 57 – 59.
4. Степутин А.Н., Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G. В 2 Т. Том 1. Москва – Вологда: Инфа-Инженерия, 2017. – 380 с
5. Тихвинский В.О. Перспективы сетей 5G: требования к качеству обслуживания // В.О. Тихвинский, Г.С. Бочечка / Электросвязь. – 2014. – № 11. – С. 40 – 43.
6. Peng M. System architecture and key technologies for 5G heterogeneous cloud radio access networks / M. Peng, Y. Li, Z. Zhao, Ch. Wang // IEE Network. – 2015. – Vol. 29, No. 2. – pp. – 6-14. DOI: 10.1109/MNET.2015.7064897.

Видано на замовлення Радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Технічне редагування — Головня В.М.

Підп. до друку \_\_\_\_\_. Формат 60x841/16. Папір офс. Гарнітура Times.  
Спосіб друку — ризографія. Ум.друк.арк. \_\_\_\_\_. Обл.-вид. арк. \_\_\_\_\_. Наклад \_\_ пр.  
Зам. № \_\_\_\_\_.

---

КПІ ім. Ігоря Сікорського ВПІ ВПК "Політехніка"  
Свідотство ДК № 1665 від 28.07.2004 р.  
03056, Київ, вул. Політехнічна, 14, корпус 15  
тел. (044) 406-81-78