

**В. І. Шклярський**, В. С. Грицай, Т. Р. Смаркутський  
Національний університет “Львівська політехніка”

## **ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАДНИЗЬКОЧАСТОТНОГО ПОЛЯ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ’ЄКТИ**

© Шклярський В. І., Грицай В. С., Смаркутський Т. Р., 2017

Розглянуто питання створення пристрою для формування електричного та магнітного наднизькочастотного (ННЧ) поля випромінювання, який використовуватиметься для дослідження впливу цього поля на живі біологічні об’єкти. Розроблено структурну схему такого пристрою, визначено його основні технічні параметри, розглянуто питання побудови його окремих вузлів.

Ключові слова: біологічний об’єкт, зовнішній вплив, наднизькочастотне поле, пристрій для формування поля.

V. I. Shkliarskyi, V. S. Hrycaj, T. R. Smarkutskyi  
Lviv Polytechnic National University

## **DEVICE FOR THE INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF LOW FREQUENCY RADIATION FIELD ON BIOLOGICAL OBJECTS**

© Shkliarskyi V. I., Hrycaj V. S., Smarkutskyi T. R., 2017

The question of creation of a device for the formation of an electric and magnetic ultra-low frequency (ULF) radiation field is considered, which in the future will be used to study its effect on living biological objects. The structural scheme of such device is developed, its basic technical parameters are determined. The questions of construction of its separate units are considered.

Scientists of the Kharkiv National University named after V. N. Karazin established the effect of microwave radiation on the indicators of cell membrane permeability and cell viability. It is likely that these general indicators also change under the influence of ULF. The study of these indicators will provide information on both the mechanism of impact of ULF on the cell, and on the potential impact on the human body. In this regard, it is important to study the cells of people with a high sensitivity to the action of electromagnetic factors. The application of precision magnetic field generators with wide functional capabilities will increase the accuracy and informativeness of investigations of the influence of an external electromagnetic magnetic field on biological objects.

The structural scheme of the device for forming an electric and magnetic field on biological objects is developed. It consists of a control unit, a set generator, a matching amplifier, a quadrature signal former for generating an electric field loaded on static plates, an electromagnetic fieldformer loaded on inductance coils which converts the current that flows through them into an electromagnetic field.

The instrument for studying the influence of the ultrashort electromagnetic and electrostatic field on biological objects has been developed. It provides the formation of two quadrature signals with an amplitude of 5 V. The amplitude of the signal varies discretely with a step of 0.1 V. The signal frequency is regulated in the range 10 Hz – 1000 Hz with a step of 10 Hz. The electrostatic field is formed by plates. The capacity of the plates does not exceed 1000 pF. The amplitude of the signal forming the electrostatic field is amplified to 200 V. The electromagnetic field is formed by special coils of inductance, which consist of two windings. Structurally the coils are made on a ferrite core. Coil inductance does not exceed 4 mH. The electromagnetic field is formed by a current flowing through the windings of the coil. For

**current formation, converter voltage-current is used. The converter is made according to the scheme of the DC amplifier with a deep feedback on the current. Maximum amplitude of current in inductive load at the highest signal frequency is 200 mA.**

**Key words: biological object, external influence, ultra-low frequency field, device for formation of the field.**

### **Вступ**

Науковці Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна вже давно успішно вивчають зміни у клітинному ядрі, що виникають внаслідок дії електромагнітних полів. В результаті попередніх досліджень у цьому напрямі встановлено низку закономірностей у зміні ступеня конденсованості хроматину у ядрі під впливом мікрохвильового (надвисокочастотного) випромінювання. Вплив наднизькочастотного (ННЧ) на цей показник не досліджено. У попередніх дослідженнях вчені ХНУ встановили також вплив мікрохвильового випромінювання на показники проникності клітинної мембрани та життєздатності клітин. Вірогідно, ці загальні показники також змінюються під впливом ННЧ. Дослідження цих показників дасть інформацію як про механізм впливу ННЧ на клітину, так і про потенційний вплив на організм людини. Зважаючи на це, цікавим та практично важливим є вивчення клітин людей, що відрізняються підвищеною чутливістю до дії електромагнітних факторів [1].

З проблемами стійкості клітин безпосередньо пов'язане явище гормезису. Явище гормезису супроводжується низкою морфофункціональних змін у клітинах. Раніше було встановлено, що системні метаболічні зміни, які спостерігаються у культурі водоростей *Dunaliella viridis Teodor* за умов впливу високої концентрації міді, проявляються у морфофункціональних змінах у клітинах. Такі зміни збільшують різноманітність культури, яку ще підвищує генетична нестабільність [1]. Важливо було б перевірити, наскільки цей механізм універсальний і чи супроводжується вплив ННЧ опромінення аналогічними процесами.

Застосування прецизійних генераторів магнітного поля з широкими функціональними можливостями дасть змогу підвищити точність та інформативність досліджень впливу зовнішнього магнітного поля на біологічні об'єкти [1, 2].

Основна наукова проблема комплексного підходу до вивчення біологічних об'єктів полягає в необхідності вивчення генетичної мінливості ступеня політенії гігантських хромосом, а також впливу на ендоредуплікацію різноманітних факторів внутрішнього і зовнішнього середовищ. Основна наукова ідея щодо формування магнітного поля низької частоти полягає у використанні спеціальних котушок та у формуванні в них струмів відповідної форми та величини згідно з керуючими сигналами за рахунок використання глибокого зворотного зв'язку за струмом. Значний інтерес викликає вивчення процесів встановлення струму з дуже низькими частотами сигналів [2].

### **Структурні схеми пристрою та його вузлів**

Розроблено структурну схему пристрою для дослідження впливу низькочастотного електромагнітного поля на біологічні об'єкти за допомогою електростатичного та електромагнітного поля, наведену на рис. 1. До її складу входять блок керування БК, задаючий генератор ЗГ, узгоджувачий підсилювач УП, формувач сигналу електростатичного поля ФСЕСП, навантажений на статичні пластини СП, формувач електромагнітного поля ФСЕМП, навантажений на котушки індуктивності КІ, що перетворюють струм, який по них протікає, на електромагнітне поле. Блок керування призначений для формування всіх керуючих сигналів, які вибирають необхідний режим роботи пристрою, а задаючий генератор – для формування двох сигналів, амплітуда яких змінюється синхронно за синусоїдальним та косинусоїдальним законами з вибраною частотою, що надалі дасть змогу формувати вплив обертового поля на досліджувані біологічні об'єкти.

Узгоджувачий підсилювач УП буде використано для підсилення сигналів до амплітуди 5–10 В, а також для їх фільтрування, оскільки передбачається формування гармонічних сигналів цифровим способом, додавання до цих сигналів постійної складової, а також регулювання амплітуди вимірювальних сигналів у широких межах.

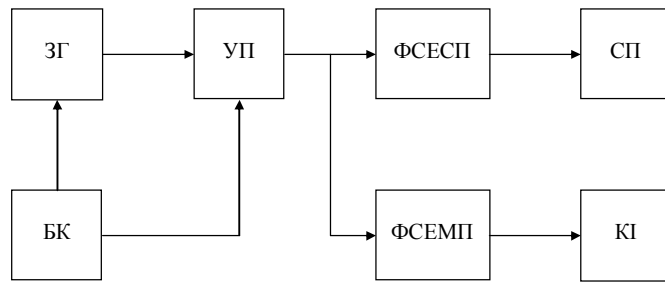


Рис. 1. Структурна схема пристрою

Формувач сигналу електростатичного поля ФСЕСП призначений для підсилення сигналу до величини, розмах якої може сягати 200 В. Для цього доцільно реалізувати схему ФСЕСП за двоканальною схемою, із застосуванням в одному з каналів інвертора і ввімкненням навантаження у вигляді статичних пластин відхилення за мостовою схемою. Така реалізація дасть змогу зменшити амплітуду вихідного сигналу у два рази за заданої амплітуди, прикладеної до статичних пластин.

Структурну схему задаючого генератора наведено на рис. 2. До її складу входять лічильник Л, дешифратор Д, перший блок пам'яті БП1, другий блок пам'яті БП2, перший цифро-аналоговий перетворювач ЦАП1, другий цифро-аналоговий перетворювач ЦАП2, перший вхідний підсилювач ПВ1, другий вихідний підсилювач ВП2. На вхід задаючого генератора ЗГ з блока керування БК надходять лічильні імпульси ЛІ, кількість яких визначається роздільною здатністю формування синусоїдального сигналу. На виходах лічильника формується паралельний двійковий код, який використовується для вибору необхідного значення сигналу з блоків пам'яті БП1 та БП2. Значення амплітуди сигналу, пропорційної до синуса, записані в першому блоці пам'яті БП1, а значення амплітуди сигналу, пропорційної до косинуса, – в другому блоці пам'яті БП2. Цифро-аналогові перетворювачі ЦАП1 та ЦАП2 перетворюють значення паралельного двійкового коду амплітуди сигналу на відповідний аналоговий сигнал нормованої амплітуди. Вихідні підсилювачі ВП1 та ВП2 використовуються для підсилення сигналів до амплітуди 5 В, а також для згладжування форми сигналу внаслідок його цифрового формування.

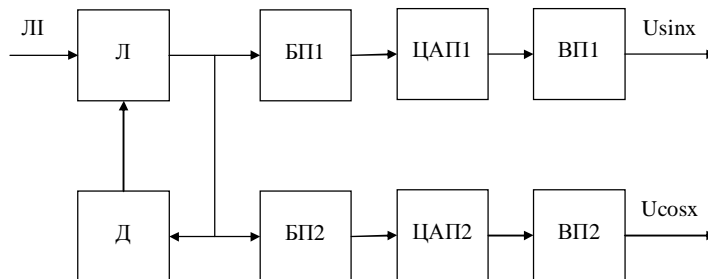


Рис. 2. Структурна схема задаючого генератора пристрою

Узгоджувач підсилювач УП призначений для узгодження вихідних параметрів задаючого генератора з вхідними параметрами формувача сигналу електростатичного поля та вхідними параметрами формувача сигналу електромагнітного поля, а також регулювання амплітуди сигналу в широких межах та забезпечення постійного зміщення сформованого сигналу на виході підсилювача й обмеження сигналу наперед заданому рівні, який на 5–10 % перевищує максимальну амплітуду сигналу. Структурну схему узгоджувача підсилювача наведено на рис. 3. До його складу входять чотири комутатори К1, К2, К3, К4, два регулятори амплітуди сигналу РА1 та РА2, два суматори сигналу С1 та С2, два підсилювачі напруги ПН1 та ПН2, два формувачі сигналу зміщення ФС31 та ФС32.

Комутатор К1 призначений для пропускання сигналу  $U_1 \sin x$  на вхід регулятора амплітуди сигналу РА1 за наявності логічного потенціалу сигналу режиму роботи СРР. Амплітуда сигналу на виході регулятора амплітуди РА1 визначається кодом сигналу керування амплітудою СКА1. Комутатор К2 призначений для пропускання сигналу  $U_1 \cos x$  на вхід регулятора амплітуди сигналу РА2 за наявності логічного потенціалу сигналу режиму роботи СРР. Амплітуда сигналу на виході регулятора

амплітуди PA2 визначається кодом сигналу керування амплітудою СКА2. Формувачі сигналу зміщення ФС31 та ФС32 формують сигнали постійного зміщення сигналів вимірювання  $U_1\sin x$  та  $U_1\cos x$ . Комутатор К3 призначений для пропускання сигналу зміщення сигналу  $U_1\sin x$  на другий вхід суматора С1, на перший вхід якого надходить сигнал з виходу регулятора амплітуди PA1. Комутатор К4 призначений для пропускання сигналу зміщення сигналу  $U_1\cos x$  на другий вхід суматора С2, на перший вхід якого надходить сигнал з виходу регулятора амплітуди PA2. Суматори С1 та С2 призначені для підсумування вхідних сигналів та сигналу від'ємного зворотного зв'язку, який використовується для стабілізації параметрів, а також для обмеження сигналу на рівні, який на 5–10 % перевищує рівень максимальної амплітуди сигналу в разі підсумування сигналів зміщення та основного сигналу великої амплітуди. Підсилювач напруги ПН1 призначений для підсилення сигналу  $U_2\sin x$  до значення 5 В. Підсилювач напруги ПН2 призначений для підсилення сигналу  $U_2\cos x$  до значення 5 В.

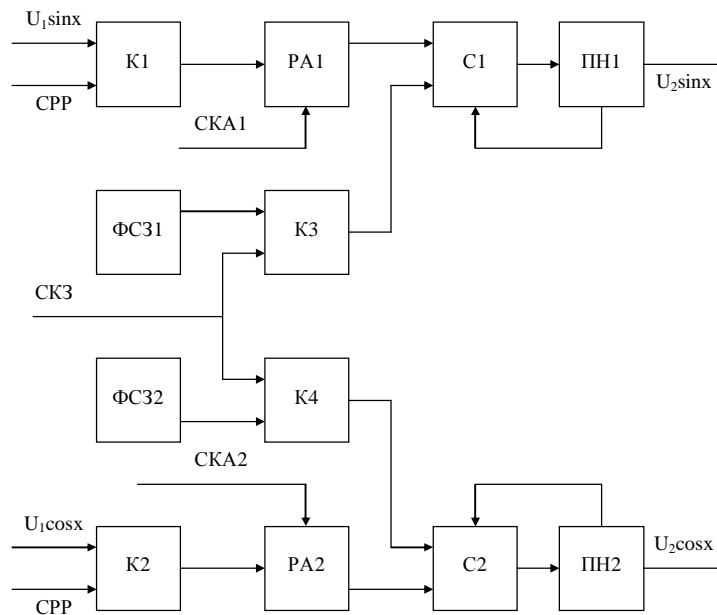


Рис. 3. Структурна схема узгоджуючого підсилювача

Формувач сигналу електростатичного поля ФЕСЕП призначений для підсилення сигналу  $U_2\sin x$  до 200 В. Структурну схему ФЕСЕП наведено на рис. 4.

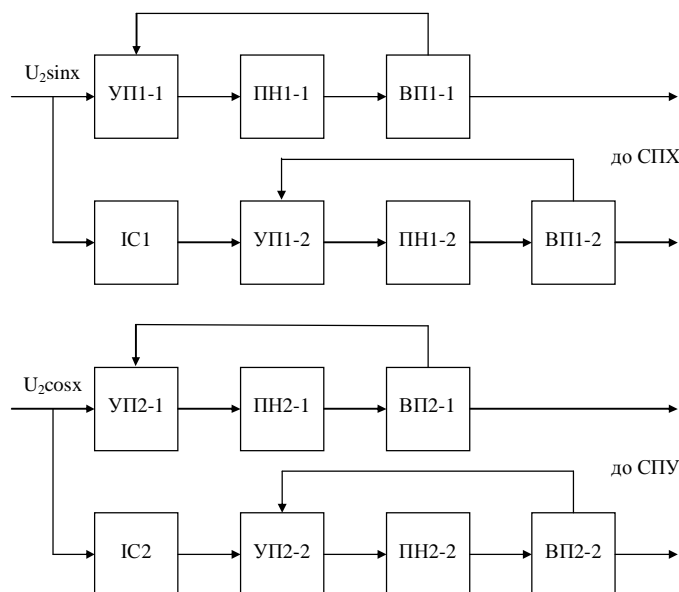


Рис. 4. Структурна схема формувача сигналу електростатичного поля пристрою

До складу структурної схеми формувача сигналу електростатичного поля пристрою для дослідження впливу низькочастотного електростатичного та електромагнітного полів на біологічні об'єкти входять узгоджуючі підсилювачі УП, підсилювачі напруги ПН, вихідні підсилювачі ВП та інвертори сигналу ІС. Узгоджуючий підсилювач призначений для підсумування вхідного сигналу та сигналу від'ємного зворотного зв'язку, який стабілізує параметри формувача сигналу. Підсилювач напруги ПН забезпечує підсилення сигналу до амплітуди 100 В. Вихідний підсилювач забезпечує узгодження формувача сигналу з ємнісним навантаженням. Інвертор сигналу призначений для зміни полярності сигналу з коефіцієнтом передачі, що дорівнює одиниці. Мостове ввімкнення сигнальних пластин за координатами X та Y забезпечує вихідну амплітуду сигналу, прикладеного до сигнальних пластин, 200 В за напруги сигналу на виході вихідного підсилювача 100 В.

Формувач сигналу електромагнітного поля ФСЕМП призначений для формування струму в котушках індуктивності, які перетворюють струм на електромагнітне поле. Структурну схему ФСЕМП наведено на рис. 5.

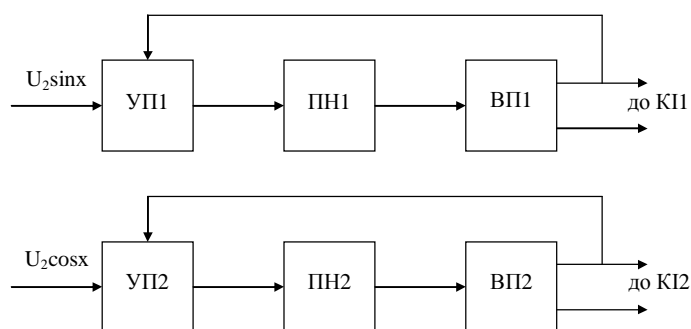


Рис. 5. Структурна схема формувача сигналу електромагнітного поля пристрою

До складу формувача сигналу електромагнітного поля ФСЕМП входять два ідентичні канали, кожен з яких виконано за схемою перетворювача напруга-струм. До складу кожного каналу входять узгоджуючий підсилювач УП, підсилювач напруги ПН та вихідний підсилювач ВП. Узгоджуючий підсилювач УП підсумовує вхідний сигнал та сигнал від'ємного зворотного зв'язку за струмом, сигнал якого формується на прецизійному резисторі, ввімкненому послідовно з індуктивним навантаженням. Вхідний підсилювач ВП забезпечує високу точність перетворення вхідного сигналу на струм навантаження. Підсилювач напруги підсилює сигнал до величини, яка забезпечує швидкодію встановлення струму в індуктивному навантаження на найвищій частоті. Вхідний підсилювач забезпечує підсилення сигналу за струмом до величини, яка створює струм у котушках індуктивності заданого значення, який формує необхідне електромагнітне поле.

### Дослідження основних параметрів пристрою

Основні технічні параметри пристрою такі:

- діапазон частот формованого сигналу – 10 Гц–1 кГц;
- дискретність вибору частоти – 10 Гц;
- ємність статичних електродів – не більше ніж 1000 пФ;
- опір навантаження у разі підімкнення статичних електродів – не менше ніж 100 кОм;
- максимальна амплітуда сигналу – 200 В;
- регулювання амплітуди – дискретне, дискретність регулювання – 1 В;
- індуктивність котушок формування електромагнітного поля – не більше ніж 4 мГн;
- опір котушок формування електромагнітного поля – не більше ніж 4 Ом;
- максимальний струм у котушках формування електромагнітного поля – 0,3 А;
- регулювання амплітуди струму – дискретне, дискретність регулювання – 0,005 мА;
- пристрій забезпечує формування обертового електромагнітного та електростатичного полів.

Розраховано значення споживаних потужностей залежно від конструктивних параметрів індуктивного навантаження. Цей фактор обов'язково необхідно враховувати під час проектування вихідних каскадів ПНС, оскільки значна частина цієї потужності розсіюватиметься на транзисторах вихідного каскаду. Графічні залежності напруг живлення вихідного каскаду ПНС від індуктивності використовуваних котушок відхилення наведено на рис. 6, а споживаних потужностей живлення – на рис. 7.

З наведених графіків видно, що найдоцільніше використання індуктивного навантаження, яке не перевищує 1–2 мГн, а середня споживана потужність у разі використання гармонійного сигналу на частоті до 1 кГц не перевищуватиме 3–4 Вт, а якщо використано сигнал з постійною складовою – 12–14 Вт. Це означає, що для реалізації вихідного каскаду обов'язковим є використання радіаторів для зменшення потужності розсіювання на транзисторах вихідного каскаду ПНС. Графічні залежності необхідного коефіцієнта підсилення ПНС та часу встановлення за малої амплітуди сигналу залежно від індуктивності використовуваних котушок відхилення наведено на рис. 8 та рис. 9 відповідно.

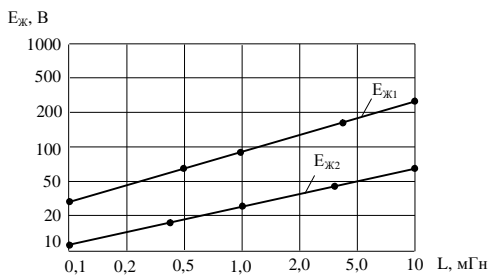


Рис. 6. Залежність напруг живлення вихідного каскаду ПНС від індуктивності використовуваних котушок

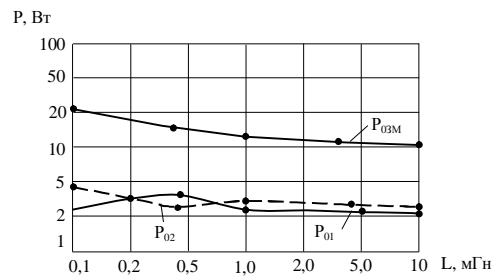


Рис. 7. Залежність споживаних потужностей від індуктивності використовуваних котушок

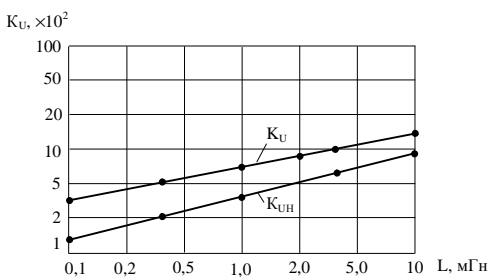


Рис. 8. Залежності необхідного коефіцієнта підсилення ПНС від індуктивності використовуваних котушок

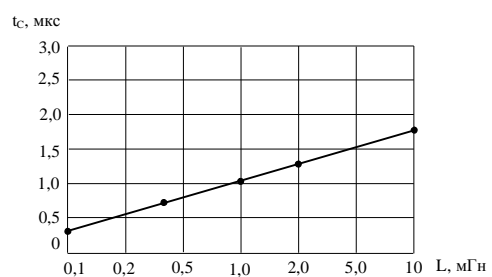


Рис. 9. Залежність часу встановлення за малих амплітуд сигналу від індуктивності котушок

Залежності струму в навантаженні від частоти за різних конструктивних параметрів індуктивного навантаження наведено на рис. 10–11.

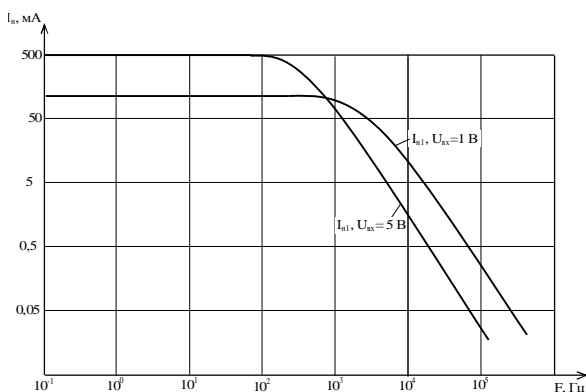


Рис. 10. Залежність струму в навантаженні від частоти для індуктивного навантаження  $L_{H1}$  та резистора формування сигналу зворотного зв'язку 22 Ом

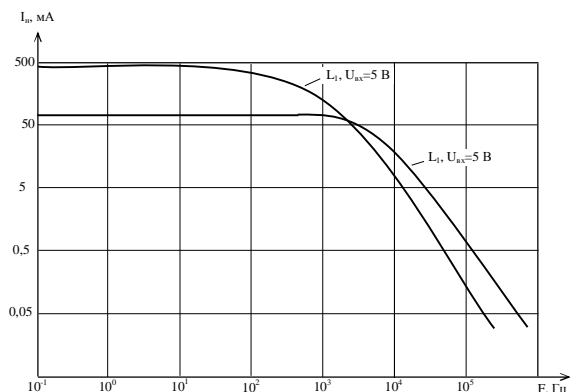


Рис. 11. Залежність струму в навантаженні від частоти для індуктивного навантаження  $L_{H3}$  та резистора формування сигналу зворотного зв'язку 10 Ом

Часові діаграми квадратурних сигналів задаючого генератора на частоті 10 Гц наведено на рис. 12.

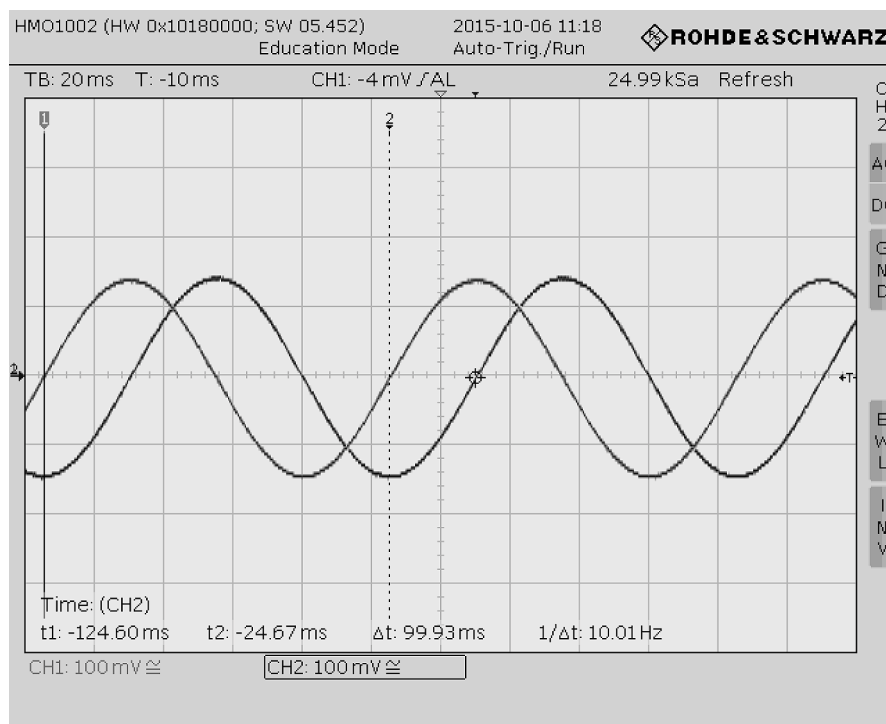


Рис. 12. Часові діаграми роботи квадратурного генератора на частоті 10 Гц

### Висновки

Розроблено прилад для дослідження впливу наднизькочастотного електромагнітного та електростатичного поля на біологічні об'єкти. Прилад забезпечує формування двох квадратурних сигналів амплітудою 5 В. Амплітуда сигналу змінюється дискретно з кроком 0,1 В. Частота сигналу регулюється в діапазоні 10–1000 Гц з кроком 10 Гц. Електростатичне поле формується пластинами. Ємність пластин не перевищує 1000 пФ. Амплітуда сигналу формування електростатичного поля підсилюється до 200 В. Електромагнітне поле формується спеціальними котушками індуктивності, які складаються з двох обмоток. Конструктивно котушки виконані на феритовому осерді, їхня індуктивність не перевищує 4 мГн. Електромагнітне поле формується струмом, який протікає по обмотках котушки. Для формування струму використано перетворювач напруга–струм, виконаний за схемою підсилювача постійного струму з глибоким зворотним зв'язком за струмом. Максимальна амплітуда струму в індуктивному навантаженні на найвищій частоті сигналу 200 мА.

1. *Електрокінетичні властивості ядер букального епітелію пацієнток зі злякисними і доброякісними неоплазіями молочної залози ЧВФ // Лозовська Ю. В., Налескіна Л. А., Поліщук Л. З., Шкорбатов Ю. Г. // Онкологія 10 (2), 2008. – Т. 10, N 2. 264–268.* 2. *Шклярський В. І. Сканувальна телевізійна оптична мікроскопія: теорія та практика: монографія / В. І. Шклярський. – Л.: Видавництво Львівської політехніки. – 2010. – 456 с*

### References

1. *Electrokinetic properties of nuclei of buccal epithelium of patients with malignant and benign neoplasia of the mammary gland of the CVF / Lozovska Yu. V., Naleskina L. A., Polishchuk L. Z., Shkorbatov Yu. G. Oncology. – 2008. – N 2. – Vol. 10, 10 (2), C. 264–268.* 2. *Shkliarskyi V. Television scanning optical microscopy: theory and practice: a monograph / V. Shkliarskyi. – Lviv Polytechnic, 2010. – 456 p.*