

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОСЛИННИХ БІООБ'ЄКТІВ

Никифорова Л. Є.

Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ)

*Сформульовані вимоги до апаратури діагностування життєдіяльності рослинних біооб'єктів. Приведена схема пристрою для вимірювання біоелектричних потенціалів та описано його принцип дії. Розроблений пристрій дозволяє вести безперервну реєстрацію метаболічної різниці біоелектричних потенціалів з визначенням амплітудних екстремумів негативної і позитивної на півхвилі.*

**Постановка проблеми.** Створення ефективних малоенергоємних технологій і технічних засобів, що підсилюють адаптацію рослин до несприятливих чинників середовища перш за все сприяють реалізації їх потенційної продуктивності. Такі екологічно чисті і нові для сільськогосподарського виробництва технології і технічні системи можна розробляти, базуючись на об'єктивно існуючих закономірностях взаємозв'язку біоелектричних потенціалів (БЕП) рослинних об'єктів з параметрами їх життєдіяльності і використовуючи низькоенергетичні електричні дії для корегування інтегральних показників БЕП і управління адаптацією рослини. Останнім часом спостерігається підвищений інтерес дослідників до розробок електрофізичної низькоенергетичної або інформаційно-управляючої дії на рослинні біооб'єкти (РБО) при безперервному контролі за їх фізіологічним станом, що важливе для оптимального використання біологічного потенціалу культур.

В умовах безперервного масо-енергообміну з навколишнім середовищем, речовиною, енергією і інформацією в рослинних організмах створюються струми заряджених частинок, які утворюють всередині і за його межами тонко організовані в просторових і тимчасових відносинах постійні і змінні електричні поля. Величина БЕП відображає реальні процеси обміну речовин і нерозривно пов'язана з фізіологічним станом живого організму, а стійкий нерівноважний стан в рослинних організмах підтримується за рахунок безперервно протікаючих в них процесів обміну речовин. Порушення нормального перебігу цих процесів веде до втрати рослинним організмом життєздатності і до зникнення БЕП. Причини виникнення БЕП в основному ділять на 4 групи:

- потенціал спокою виражає електрофізіологічну властивість РБО, що знаходиться в стані спокою. Він представляє різницю потенціалів між живою структурою і навколишнім нейтральним середовищем. Живі структури заряджені як правило негативно щодо середовища. Потенціал спокою є основною характеристикою організму, на його фізико-хімічній основі формується вся решта біоелектричних явищ;

- демаркаційні потенціали виникають в будь-якому організмі між його пошкодженою ділянкою і інтактною поверхнею;

- метаболічні потенціали виникають між ділянками живих тканин з різним рівнем обміну речовин. Вони є різницею між потенціалами спокою окремих структур рослини. При цьому ділянка інтенсивнішого обміну стає електронегативною по відношенню до

навколишніх тканин. В більшості випадків метаболічні потенціали є постійними по полярності і поволі змінними по величині від одиниць до десятків мілівольт для трав'янистих рослин;

- потенціали течії в рослинних організмах генеруються на основі електрокінетичних явищ в провідних пучках рослини.

Імпульсна біоелектрична активність в РБО характеризує зміни у функціональній життєдіяльності і передає ці флуктуації як відповідь на зміни в навколишньому середовищі і на дії збурюючих зовнішніх чинників. Відомі три типи імпульсної електричної активності:

- потенціали дії (ПД) - імпульсні електричні відповіді на надпорогове подразнення. Тривалість імпульсу всіх видів потенціалів дії складає від декількох до десятків секунд;

- варіабельний потенціал (ВБ) - реакція вищих рослин на пошкоджувальні, або високоенергетичні дії. Тривалість сигналу складає від декількох до десятків хвилин, амплітуда варіює від 20 до 120 мВ. За формою ВБ відрізняється від ПД тривалішою низхідною гілкою імпульсу;

- мікроритміка - особливий вид ритмічної імпульсної електричної активності у рослин. Діапазон амплітуд мікроімпульсів - десятки і сотні мікрвольт, тривалість імпульсів - від десятків до сотень мілісекунд. Мікроритми БЕП приводять до швидкого збільшення концентрації іонів, що запускають стресову реакцію рослин.

Таким чином, вимірюючи величину БЕП можна контролювати стан рослинних біооб'єктів на різних стадіях органогенезу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зараз типові, серійні пристрої для вимірювання електричної активності рослин відсутні. Пристрої, що розробляються зусиллями окремих дослідників можна умовно поділити на дві групи: електрометричні вимірники поверхневої різниці БЕП або швидкості її зміни при дії подразника та пристрої для вимірювання електропровідності живої тканини шляхом пропускання струмів різної частоти. Всьому різноманіттю конструкцій властивий ряд недоліків: складність, низька чутливість, недостатня універсальність.

**Мета статті.** Розробка принципу побудови і технічна реалізація засобів вимірювання біоелектричних потенціалів РБО для вивчення механізму впливу на них електромагнітних полів.

**Основні матеріали досліджень.** Розробка апаратури для електрофізіологічних досліджень РБО обу-

мовлена специфікою об'єкту вимірювання – високою чутливістю до зовнішніх дій і динамічністю процесів, які при цьому протікають. Ці особливості визначають необхідність застосування методів вимірювань і пристроїв, які мають мінімальний вплив на рослини [3].

Для реалізації цих вимог запропоновано пристрій для вимірювання БЕП призначений для дослідження біоелектричних характеристик рослин в контрольованих умовах і заснований на принципі одноразових і безперервних вимірювань.

Стан сучасної мікроелектроніки дозволяє реалізувати апаратуру для електрофізіологічних досліджень на мікропроцесорній базі. Застосування інструментальних операційних підсилювачів (ОП), мікроконтро-

лера, як базового елементу, і рідкокристалічного індикатору дає можливість досягти зниження споживаних струмів до 5...10 мА, знизити рівень власних шумів і досягти високого входного опору (до  $10^{11}$  Ом), що є однією з вимог узгодження електрофізичних характеристик РБО з вимірювальним пристроєм.

Розроблений пристрій вимірювання БЕП (рис. 1) передбачає можливість реєстрації наступних електрофізіологічних характеристик:

- безперервна реєстрація метаболічної різниці БЕП;
- реєстрація БЕП дії із запам'ятовуванням амплітудних екстремумів негативної і позитивної напівхвилі.

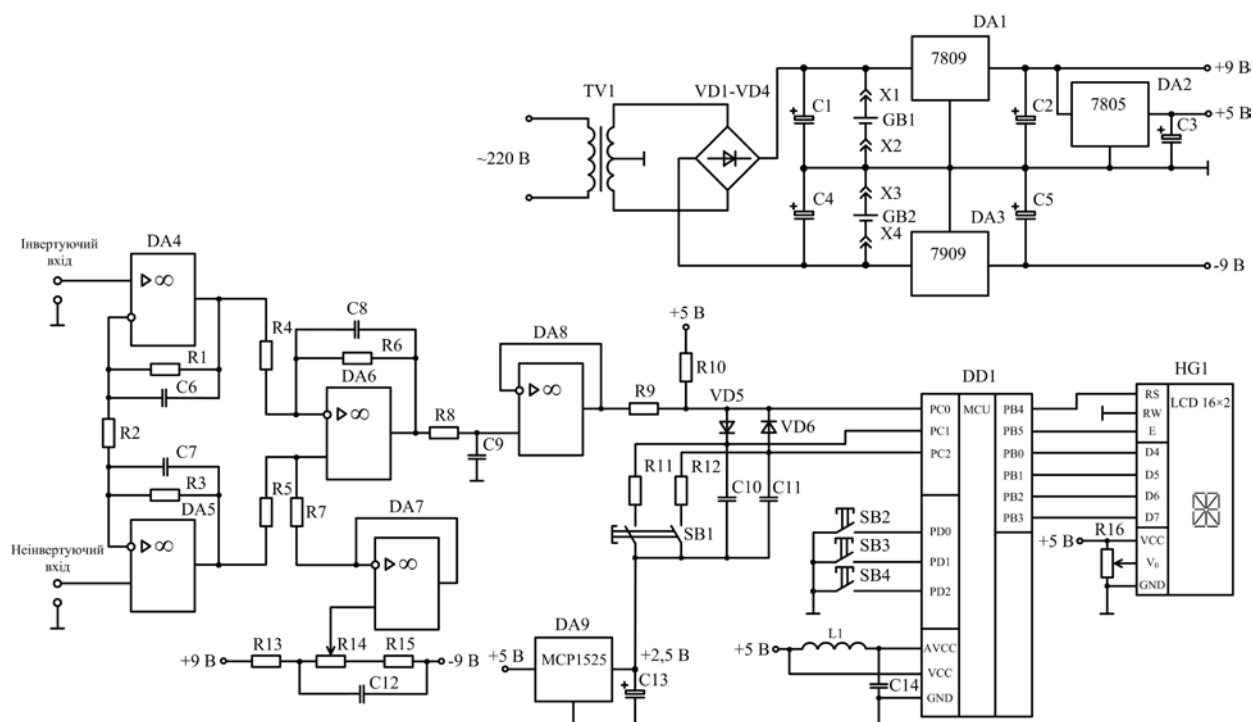


Рисунок 1 – Структурна схема пристрою



Рисунок 2 – Загальний вигляд пристрою

Для посилення слабкого рівня БЕП і для забезпечення можливості його реєстрації або аналізу використано інструментальний ОП, який виконано на мікросхемах DA4, DA5 і DA6. Коефіцієнт підсилення регулюється за допомогою резистора R2, при цьому коефіцієнт передачі синфазного сигналу при правильному виборі величини R7 практично дорівнює нулю. Завдяки цим позитивним властивостям схема на трьох ОП може бути базовою при побудові пристроїв для посилення і реєстрації БЕП. На виході інструментального підсилювача напруга змінюється в діапазоні -5...+5В.

В якості інструментального підсилювача може бути використана мікросхема AD620AN фірми Analog Devices. Мікросхема, розміщена в стандартному 8-вивідному DIP-корпусі і є диференціальним підсилювачем на трьох ОП. Підсилювач AD620AN працює в діапазоні живильних напруг  $\pm(2,3-18)$ В, допускаючи регулювання коефіцієнта посилення в межах від 1 до 1000 шляхом зміни величини одного зовнішнього резистора. Підсилювач має великий вхідний опір по постійному струму (10 ГОм) і низький рівень власних шумів [2].

Мікросхема DA7 і резистор R14 служать для установки "нуля" на виході DA6 інструментального підсилювача. На елементах R8C9 виконаний фільтр нижніх частот, з постійною часу 0,3 с. З виходу фільтру двохполярний сигнал поступає на буферний підсилювач, виконаний на мікросхемі DA8.

На резисторах R9 і R10 виконаний змішувач, що забезпечує перетворення двохполярної напруги сигналу в однополярну, і на який подається сигнал -5...+5В. До другого плеча змішувача підключене джерело опорної напруги 5В. На виході змішувача напруга вже змінюється від 0 до 5В (при нулі на виході DA8 тут буде 2,5В).

Функції обробки аналогового сигналу, перетворення його в цифровий код і вивід результатів вимірювань на індикатор здійснює мікроконтролер DD1 ATmega8 фірми Atmel, який має вбудований десятирозрядний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) [1].

На елементах VD5, C10 зібраний піковий детектор позитивного значення вхідного сигналу, а на елементах VD6, C11 піковий детектор негативної напруги. Виходи пікових детекторів пов'язані з входами АЦП мікроконтролера. Кнопка SB1 забезпечує скидання поточкових екстремумів БЕП.

Пристрій має можливість запам'ятовування 50 останніх значень вимірюваного БЕП в енергонезалежну пам'ять мікроконтролера EEPROM з подальшим виводом цих значень на індикатор, що реалізується кнопками SB2-SB4.

В якості рідкокристалічного індикатору вибраний дворядковий 16-розрядний індикатор WH1602.

Пристрій живиться від двополярної напруги  $\pm 9$ В і однополярної напруги +5В.

**Висновки.** Розроблений пристрій призначений для оцінки життєдіяльності рослинних біооб'єктів, експрес-діагностики шляхом вимірювання біоелектричних потенціалів і дозволяє забезпечити безперервну реєстрацію їх метаболічної різниці, запам'ятовування амплітудних екстремумів негативної і позитив-

ної напівхвилі, що має важливе прикладне значення в проведенні наукових досліджень з визначення реакцій рослинних біооб'єктів на вплив електромагнітними полями.

Електромагнітне поле, в залежності від довжини хвилі та щільності потоку потужності може оказувати як стимулюючий вплив на рослину, так і деструктивну дію. Тому під час досліджень, з метою визначення оптимальних режимів опромінення, необхідний безперервний контроль основних параметрів життєдіяльності рослини.

Таким чином, застосування даного пристрою в біотехнічній системі, дозволить визначити поріг ефективного впливу електромагнітного поля різного частотного діапазону на рослинні біооб'єкти.

#### Список використаних джерел

1. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL. – М. : Издательский дом "Додэка-XXI", 2004. – 560 с.
2. Зайченко К. В., Жаринов О. О., Кулин А. Н. Съём и обработка биоэлектрических сигналов: учеб. пособие; под ред. К. В. Зайченко. – СПб.: СПбГУАП, 2013. – 140 с.
3. Мартыненко А. И. Аппаратура для электрофизиологических исследований растений // Электрофизиологические методы функционального состояния растений: сб. научных трудов ТСХА. – 1988. – С.107-116.

#### Аннотация

### УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ БИООБЪЕКТОВ

Никифорова Л. Е.

*Определены требования к аппаратуре исследования жизнедеятельности растительных биообъектов. Приведена схема устройства для измерения биоэлектрических потенциалов и описан его принцип действия. Разработанное устройство позволяет вести непрерывную регистрацию метаболической разницы биоэлектрических потенциалов с определением амплитудных экстремумов отрицательной и положительной полуволны.*

#### Abstract

### DEVICE FOR ELECTRO-PHYSIOLOGICAL RESEARCHES OF VEGETABLE BIOOBJECTS

L. Nykyforava

*Certain requirement to the apparatus of research vital functions of vegetable bioobjects. A chart over of device is brought for measuring of bioelectric potentials and his principle of action is described. The worked out device allows to conduct continuous registration of metabolic difference bioelectric potentials with determination of peak extremums negative and positive semiwave.*