

УДК 537.811;621.3.087.44

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Каширин Вячеслав Александрович

студент

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Сигнатуллин Роман Сергеевич

аспирант

Белгородский государственный технологический

университет имени В. Г. Шухова

г. Белгород, Россия

Мишин Борис Сергеевич

кандидат технических наук, старший преподаватель

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. В данной статье анализируется возможность измерения магнитных свойств биологических веществ в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: продукты сельского хозяйства, магнитная проницаемость, колебательный контур, методика, резонанс.

Вопросы оптимального применения электромагнитной энергии в сельскохозяйственном производстве связаны, прежде всего, с изучением электрофизических свойств продуктов сельского хозяйства. Большое внимание уделяется проблеме контроля качества сельскохозяйственной продукции на всех этапах жизненного цикла: производства, хранения, переработки, потребления [1].

Одними из электрофизических параметров являются диэлектрическая и магнитная проницаемости. Исследованию диэлектрической проницаемости биологических веществ, связанной с поляризацией вещества под действием внешнего поля, посвящено большое количество исследований. [1, 2]. Магнитная проницаемость, в исследованиях посвященных определению качества сельхоз продукции почти не применяется. Для того, чтобы исследовать возможность практического применения магнитной проницаемости, проанализируем влияние магнитных характеристик вещества на индуктивность электромагнитного контура.

Свяжем индуктивность электромагнитного контура с магнитными характеристиками исследуемого вещества [2, 3]. Воспользуемся теоремой о циркуляции вектора магнитной индукции для определения электромагнитного поля внутри длинного соленоида: циркуляция вектора \vec{B} по произвольному замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром, умноженной на магнитную постоянную [4-6]:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{L} = \oint_L B_1 dL = \mu_0 \mu \sum_{i=1}^n I_i \quad (1)$$

Рассмотрим соленоид длиной l , содержащий N витков, по которому течет ток I . Сердечник s соленоида определяет его электрические свойства, рисунок 1.

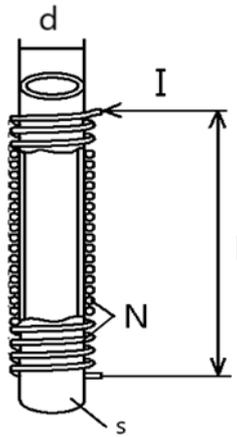


Рисунок 1 - Схема соленоида

Если длина l соленоида во много раз больше диаметра d его витков, то можно рассматривать соленоид как бесконечно длинный, и магнитное поле внутри него можно считать однородным. Распределение магнитных линий соленоида показано на рисунке 2.

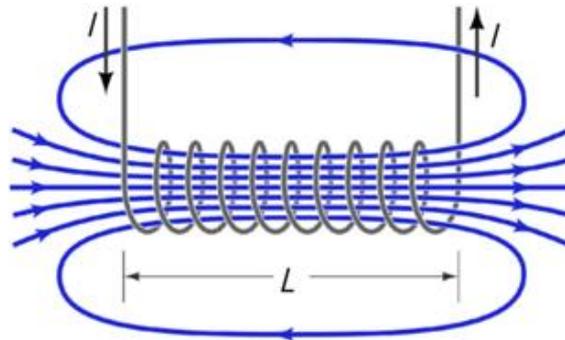


Рисунок 2 - Магнитные линии соленоида

Магнитная индукция поля внутри соленоида в вакууме вычисляется по формуле [4]:

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot I, \quad (2)$$

$$n = \frac{N}{l}. \quad (3)$$

где N – число витков соленоида, l – длина соленоида;
 μ_0 – равно $1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная.

$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ – магнитная проницаемость материала сердечника (абсолютная), магнитная проницаемость исследуемого вещества,

μ_r – относительная магнитная проницаемость исследуемого вещества (для воздуха $\mu_r = 1$)

При протекании тока I по обмотке внутри длинного соленоида возбуждается магнитное поле, имеющее индукцию B .

Магнитный поток каждого из витков определяется по формуле.

$$\Phi = B \cdot S \quad (4)$$

где S площадь поперечного сечения соленоида.

Полный магнитный поток соленоида, будет определяться выражением:

$$\Phi = n \cdot l \cdot B \cdot S = \mu_0 \cdot n^2 \cdot l \cdot S \cdot I, \quad (5)$$

Если в качестве сердечника соленоида использовать исследуемое вещество, то магнитный поток Φ будет равен:

$$\Phi = L \cdot I. \quad (6)$$

Индуктивность длинного соленоида равна:

$$L = \mu_0 \cdot n^2 \cdot l \cdot S. \quad (7)$$

Это выражение справедливо для определения индуктивности соленоида, сердечником которого является вакуум. Если соленоид заполнен веществом с магнитной проницаемостью μ , то при заданном токе I индукция магнитного поля возрастет по модулю в μ раз; поэтому индуктивность катушки с сердечником, заполненным исследуемым веществом, также увеличивается в μ раз [1, 4, 7]:

$$L_\mu = \mu L = \mu \cdot \mu_0 \cdot n^2 \cdot l \cdot S. \quad (8)$$

Таким образом, заполняя сердечник катушки соленоида исследуемым веществом, мы можем изменять ее индуктивность.

Выше мы рассмотрели индуктивность соленоида с различным исследуемым веществом, не учитывая частоту электрического тока

проходящего в обмотке соленоида. Каким образом меняется индуктивность соленоида не только от магнитной проницаемости исследуемого вещества, но и частоты электрического тока?

В наших экспериментах при изучении влияния магнитных свойств исследуемого вещества на индуктивность колебательного контура мы использовали схему, структура которой изображена на рисунке 3.

Исследуемое вещество помещается в пробирку Р которая в свою очередь помещена в катушку индуктивности К. Напряжение с катушки индуктивности подается на вход (1,2) частотно-избирательный усилитель У, на вход 3 которого подается напряжение с высокочастотного, переменного генератора G.

На выходе (4) усилителя У появляется сигналах L, соответствующий индуктивности L катушки индуктивности К, то-есть магнитным свойствам μ исследуемого вещества. Этот сигнал подается на аналоговый вход А0 микроконтроллера МК, программа работы которого задается компьютером ПК. Этим же компьютером осуществляется настройка генератора G на нужную частоту.

Микроконтроллер МК преобразует аналоговый сигнал с усилителя У в цифровую форму и передает ее в память компьютера ПК. Компьютер накапливает определенное количество измерений и записывает их в отдельные файлы. После окончания эксперимента эти файлы могут быть подвергнуты специальной математической обработке для получения результата.

Ввод сосуда с жидкостью внутрь L-ячейки, подключенной к колебательному контуру, приводит к уменьшению добротности Q и емкости C контура при резонансе, что указывает на изменение активного и индуктивного сопротивления ячейки.

На базе данной методики проводились эксперименты по исследованию магнитных свойств жидкостей.

Показанная индуктивная методика измерения, является продолжением изложенных выше исследований. В предложенной методике в схему опытной установки добавлен $R_{э}$ – эталонный резистор. Также в схеме есть источник

низкочастотных колебаний с известным напряжением и частотой колебаний. Перед проведением эксперимента колебательный контур настраивался на резонансную частоту. Ввод исследуемого вещества изменяет напряжение на эталонном резисторе – резонанс нарушается и необходимо снова на него настроится. Затем делаются замеры напряжения и частоты. Данная методика позволяет измерять магнитные свойства не только жидкостей, но и твердых веществ [1, 6, 8].

Проанализируем процессы, происходящие в параллельном колебательном LC контуре.

Схема колебательного контура с измерительной L ячейкой приведена на рисунке 3.

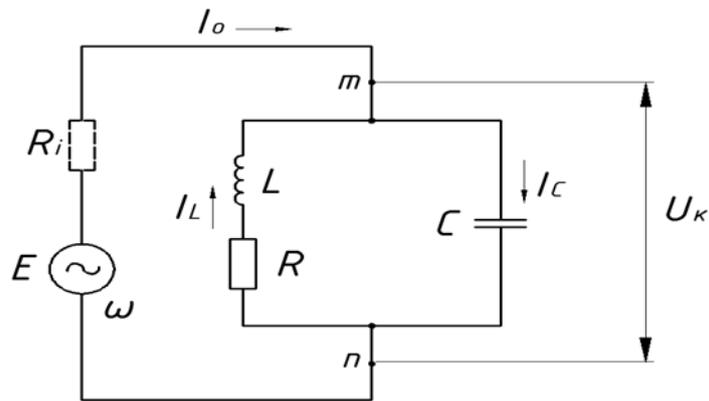


Рисунок 3 - Схема колебательного контура с измерительной L – ячейкой

E – генератор электрических колебаний; ω -частота электрических колебаний; R_i – внутреннее сопротивление генератора; L – индуктивность контура; R - активное сопротивление контура; C – электрическая емкость контура; I_L – ток индуктивности; I_C – емкостной ток; I_0 – ток контура; m, n – точки измерения напряжения U_k на контуре.

Для создания вынужденных колебаний, генератор E присоединяется к элементам колебательного контура. С целью упрощения полагаем, что активная нагрузка в контуре есть только в ветви с катушкой индуктивности L . В рассматриваемом параллельном контуре будет наблюдаться явление резонанса при частоте ω равной ω_0 .

Приближенным условием резонанса является равенство:

$$\omega_0 \cdot L \approx \frac{1}{\omega_0 \cdot C}. \quad (9)$$

При резонансе ток I_0 в общей цепи совпадает по фазе с напряжением генератора и эквивалентное сопротивление контура является чисто активным. Величину этого сопротивления можно найти по следующей формуле:

$$R_{\text{экв}} = \frac{L}{C \cdot R} = \frac{\rho^2}{R} = R \cdot Q^2 = \rho \cdot Q, \quad (10)$$

где ρ - волновое сопротивление контура; Q - добротность контура.

Так как при резонансе $\omega_0 \cdot L \approx 1/\omega_0 \cdot C$. и в реальном контуре активное сопротивление индуктивной ветви намного меньше её индуктивного сопротивления, токи в ветвях почти равны между собой:

$$I_{Cm} \approx I_{Lm}. \quad (11)$$

Отсюда следует, что при резонансе ток I_0 в общей цепи, равный разности токов в ветвях ($I_0 = I_{Cm} - I_{Lm}$), имеет минимальное значение. Соответственно сопротивление контура при резонансе имеет максимальное значение.

В этом случае, напряжение на контуре изменяется пропорционально его сопротивлению. При резонансе в контуре напряжение, как и сопротивление контура, имеет максимальное значение.

Нами для проведения исследований электромагнитных свойств сельскохозяйственных продуктов использовалась структурная схема, изображенная на рисунке 4, реализованная в виде прибора, фото которого приведено на рисунке 5.

Структурная схема прибора для измерения электромагнитных свойств сельскохозяйственных продуктов приведена на рисунке 4.

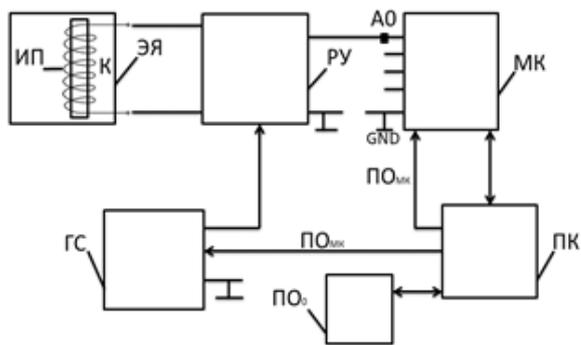


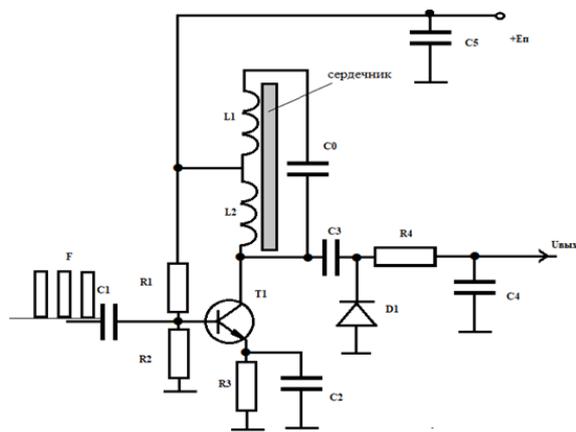
Рисунок 4 - Структурная схема и вид прибора для измерения электромагнитных свойств сельскохозяйственных продуктов.

Прибор состоит из следующих блоков:

- 1-электромагнитной ячейки ЭЯ;
- 2-резонансного усилителя РУ;
- 3-генератора сигналов ГС;
- 4-микроконтроллер МК;
- 5-компьютера ПК;
- 6-програмного обеспечения ПО.

Электромагнитная ячейка ЭЯ представляет собой емкость для помещения в нее исследуемого продукта (жидкого, сыпучего). Емкость может представлять собой пробирку, вокруг которой намотаны витки колебательного контура К.

Резонансный усилитель РУ предназначен для усиления напряжения U_k колебательного контура К на определенной частоте ω . Схема резонансного усилителя и его внешний вид на рисунке 5.



R1=1,8кОм; R2=2,0кОм; R3=0,4кОм; R4=180кОм; D1=Д311; T1=КТ315; C1=2700 пФ;

C2=C3=330нФ; C4=47нФ; E=5...12 В; L1/L2=4

Схема резонансного усилителя

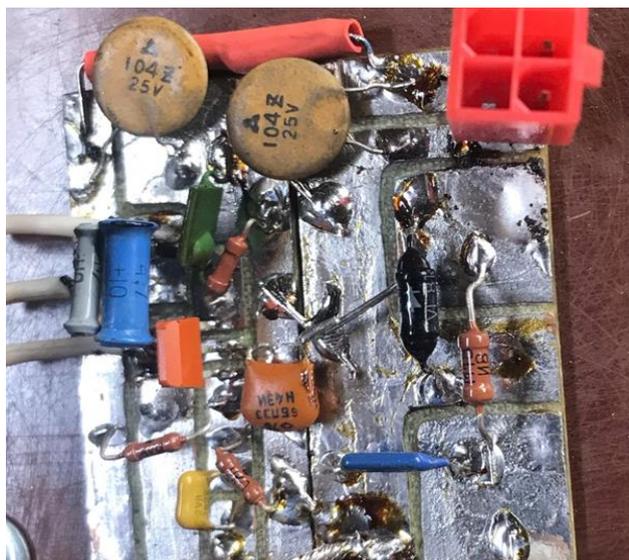


Рисунок 5 - Принципиальная схема резонансного усилителя и его внешний вид

Для работы резонансного усилителя требуется генератор сигналов ГС с регулируемой частотой ω рисунок 4. Нами используется генератор сигналов с частотой 0-40 МГц и выходным регулируемым сигналом 5 В. Сигнал с генератора поступает на базу транзистора Т1 резонансного усилителя, рисунок 6. В коллекторную цепь этого транзистора последовательно включен колебательный контур L1 L2 C0, являющийся частью электромагнитной ячейки ЭЯ, рисунок 4. В зависимости от электромагнитных свойств продукта, помещенного в электромагнитную ячейку колебательный контур L1 L2 C0 генерирует соответствующее напряжение определенной частоты ω . При совпадении этой частоты с частотой генератора ГС, на коллекторе транзистора Т1 возникает минимальное переменное напряжение, которое через емкость C3 подается на амплитудный детектор собранный на диоде D1, резисторе R4, емкости C4, таким образом выходной сигнал амплитудного детектора UВЫХ будет минимальным, если частота генератора и частота колебательного контура совпадают. Фиксируя частоту генератора для минимального напряжения UВЫХ мы определяем частоту колебательного контура, то-есть некоторые электромагнитные свойства исследуемого продукта [4, 8].

Микроконтроллер МК предназначен для преобразования сигнала с резонансного усилителя в цифровой код и передачи на компьютер ПК [9, 10].

Нами используется микроконтроллер Arduino UNO. Для работы этого микроконтроллера была создана специальная программа на языке C/C++. Листинг этой программы представлен ниже:

```
/*
  AnalogReadSerial
  Reads an analog input on pin 0, prints the result to the Serial Monitor.
  Graphical representation is available using Serial Plotter (Tools > Serial
  Plotter menu).
  Attach the center pin of a potentiometer to pin A0, and the outside pins to
  +5V and ground.
  This example code is in the public domain.
  http://www.arduino.cc/en/Tutorial/AnalogReadSerial
*/
unsigned long long t1 = 0;
unsigned long long t2 = 0;
int timer = 10000;
bool on = false;
bool on1 = false;
bool on2 = true;
uint32_t counter = 1; // CÍC‡PµC,C‡PěPε PrP°PSPSC<C...
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(9600);
}
// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  // read the input on analog pin 0:
  if(Serial.available()>0){
    char bytes = Serial.read();
```

```

if(bytes == '1'){
    //on = true;
    Serial.println("Start.");
    t2 = millis();
    on1 = true;
    counter = 1;
}
}

t1 = millis(); // PīPμCṪPμPjPμPSPSP°CṲ PṛP»CṲ PīPsP»CṛC‡PμPSPëCṲ
P•PSP°C‡PμPSPëCṲ C,PμPεCṛC%PμPiPs PICṪPμPjPμPSPë CṲ PjPsPjPμPSC,P°
PIPεP»CṪC‡PμPSPëCṲ PjPëPeCṪPsPePsPSC,CṪPsP»P»PμCṪP°, PjCṲ

int sensorValue = analogRead(A0); // C,,CṛPSPεCṛPëCṲ C‡C,PμPSPëCṲ
CṲPëPiPSP°P»P° CṲ P°PSP°P»PsPiPsPIPsPiPs PIC...PsPṛP°

if(on2 == true && on1 == true && sensorValue > 0){
    on = true; t2 = millis(); on2 = false;
}

if(on == true && abs(t1-t2)<timer){ // PμCṲP»Pë CṲPëPiPSP°P»
P±PsP»CṪCεPμ PSCṛP»CṲ P□ C,PμPεCṛC%PμPμ PICṪPμPjCṲ
PjPμPSCṪCεPμ P•P°PṛP°PSPSPsPiPs, C,Ps

uint32_t tmp = abs(t1-t2); // PICṪPμPjCṲ CṲ PSP°C‡P°P»P°
PëP•PjPμCṪPμPSPëCṲ

Serial.println((String)counter +',' + tmp +','+ sensorValue); // C,Ps,
PIC<PIPsPṛPëPj PṛP°PSPSC<Pμ PI PjPsPSPëC,PsCṪ PīPsCṪC,P°

counter++;
}

else if(on == true && abs(t1-t2)>timer){
    on = false;
    if(on1 == true){
        on1 = false;
        on2 = true;
    }
}

```

```

        Serial.println('~');
    }
}
// print out the value you read:
//delay(1);    // delay in between reads for stability
}

```

Для управления работой микроконтроллера компьютер ПК имеет специальную программу на языке C в пакете Matlab, листинг которой приведен ниже:

```

        clc;clear all ;close all ;    %% Инициализация устройств    DDS =
serial('COM4', 'BaudRate', 9600);    set(DDS, 'DataBits', 8);    set(DDS, 'StopBits',
1);    set(DDS, 'Parity', 'none');    set(DDS,'Terminator', 'LF');    tiz=0;
%set(s1,'Timeout',0.1);    fopen(DDS);    %% Начало программы измерений для
останова:...','s');    while 1    regim = input('Нажмите "ENTER" для продолжения
или "s" для останова:...','s');    if regim=='s'    disp('Программа
остановлена!');    break;    end    nameFile = input('Введите имя
файла:...','s');    data = 0; count = 1;    fwrite(DDS,'1');% запись/установка частоты
генератора    while DDS.BytesAvailable == 0    end    fscanf(DDS,'%s');
disp('Включите первый канал (CH1) на панели генератора сигналов...');
mkdir(sprintf('C:\\Users\\algor\\Desktop\\ПОЧВА\\%s\\',nameFile));    while 1 %
while DDS.BytesAvailable == 0 %    end    strFreq = fscanf(DDS,'%s');    if
strFreq(1) == '~'    break;    end    tiz=tiz+1;    disp(strFreq);
idFile    =
fopen(sprintf('C:\\Users\\algor\\Desktop\\ПОЧВА\\%s\\test.txt',nameFile),'at');
fprintf(idFile,strFreq);    fprintf(idFile,'\n');    fclose(idFile);    end end
disp('Измерение окончено');    fclose(DDS);    % количество измерений

```

izmerenie1102

На приборе в соответствии с рисунками 4,5,6 нами были произведены экспериментальные исследования различных продуктов, всего около трехсот. План проведения эксперимента приведен в таблице 1.

Таблица 1

План проведения эксперимента

Номер измерения	Вещество, исследуемое прибором	Наименование файла	Примечание
1	Исследование без вещества (пустая колба)	Izmerenie1102	-
2	Чернозем сухой ВНИИС 64	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 10 гр.
3	Сухой речной песок. Увлажнен дистиллированной водой	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 10 гр. Дистиллированная вода: 1 мл
4	Чернозем сухой. ВНИИС 64. Увлажнен дистиллированной водой	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 10 гр. Дистиллированная вода: 1 мл
5	Исследование без колбы	Izmerenie1102	-
6	Сухой речной песок. Увлажнен дистиллированной водой	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 10 гр. Дистиллированная вода: 2 мл
7	Чернозем сухой. ВНИИС 64. Увлажнен дистиллированной водой	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 10 гр. Дистиллированная вода: 2 мл
8	Сухой речной песок. Увлажнен дистиллированной водой	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 10 гр. Дистиллированная вода: 3 мл
9	Сухой речной песок	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 10 гр. Ориентировочная влажность песка: 4-5 %
10	Гумус	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 4 гр.
11	Чернозем сухой. ВНИИС 64. Увлажнен дистиллированной водой	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 10 гр. Дистиллированная вода: 3 мл
12	Гумус Увлажнен дистиллированной водой	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 4 гр. Дистиллированная вода: 1 мл
13	Гумус Увлажнен дистиллированной водой	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 4 гр. Дистиллированная вода: 2 мл
14	Гумус Увлажнен дистиллированной водой	Izmerenie1102	Количественный показатель вещества: 4 гр. Дистиллированная вода: 3 мл
15	Исследование без вещества (пустая колба)	Izmerenie1102	-

16	Исследование без колбы	Izmerenie1102	-
----	------------------------	---------------	---

Результаты измерений хранятся в отдельных файлах в компьютере ПК. Для обработки полученных данных в пакете Matlab разработана программа, листинг которой приведен ниже:

```
% Программа анализа данных электромагнитного датчика clc; close all;
clear all; % Ниже осуществляется выбор необходимого файла, номер которого -
по тетради % В файле 000 количество строк- объектов эксперимента 0...43;
%P1= load('C:\Users\algor\Desktop\ПОЧВА\probirka000\probirka000D.txt'); % В
файле 001 количество строк- объектов эксперимента 0...4; %P1=
load('C:\Users\algor\Desktop\ПОЧВА\probirka001\probirka001D.txt'); % В файле
002 количество строк- объектов эксперимента 0...61; %P1=
load('C:\Users\algor\Desktop\ПОЧВА\probirka002\probirka002D.txt'); % В файле
003 количество строк- объектов эксперимента 0...29; % P1=
load('C:\Users\algor\Desktop\ПОЧВА\probirka003\probirka003D.txt'); % В файле
004 количество строк- объектов эксперимента 0...34; % P1=
load('C:\Users\algor\Desktop\Pochva\probirka003\probirka003.txt'); P1=
load('C:\Users\Роман\Desktop\Измерения\Izmerenie2302\Izmerenie2302.txt'); date
disp('Программа анализа данных электромагнитного датчика') format SHORTG
%format shortEng %Считать матрице данных с исходной таблицы: C=P1(:,1); %
номер эксперимента, связан с условиями эксперимента, номер пробирки;
ND=P1(:,2);% номер строк , связан со временем отсчетов и частотой;
NB=P1(:,3); % время отсчета, после включения ардуино; Ch=P1(:,4);%сигнал;
%Формирование матрицы анализа; [m,n]=size(P1);% определение размера
основной матрицы; %m-число строк матрицы;%n-число стробцов матрицы;
pr=35;% задание номера пробирки для поиска в таблице; pr=input('Ввести номер
пробирки для поиска в исходной таблице:'); %Начальная частота fn=0;%Hz;
%Конечная частота fk=40000000;%Hz; %Время сканирования частоты
ардуиноm Ta=10000;%mc % Шаг по частоте hf=(fk-fn)/Ta; %Время работы
генератора с момента начала сканирования частоты,mc; % сканирование
```

```

основной матрицы; k=0; for i=1:m;%перебор строк; if P1(i,1)==pr;    k=k+1;
Sm(k,1:4)=P1(i,1:4);% Матрица для заданной пробирки; end end F=Sm; %Расчет
частоты в подматрице Sm для выделенной пробирки %Размер подматрицы
[m1,n1]=size(Sm); for i=1:m1    F(i,5)=40000000*Sm(i,2)/m1; end % подматрица
для анализа; y=F(:,4);x=F(:,5); figure % semilogx (x,y,'.') plot(x,y,'.') grid on;
xlabel('Частота,Гц');ylabel('Сигнал, мВ'):

```

В результате обработки данной программы получены зависимости сигнала резонансного усилителя от частоты генератора, то-есть величина возбуждения электронов исследуемого продукта на разных частотах. На рисунке 6, приведен сигнал резонансного усилителя от частоты генератора для:

- 1) Электромагнитной ячейки, заполненной дистиллированной водой;
- 2) Электромагнитной ячейки с удобрением на основе биогумуса.

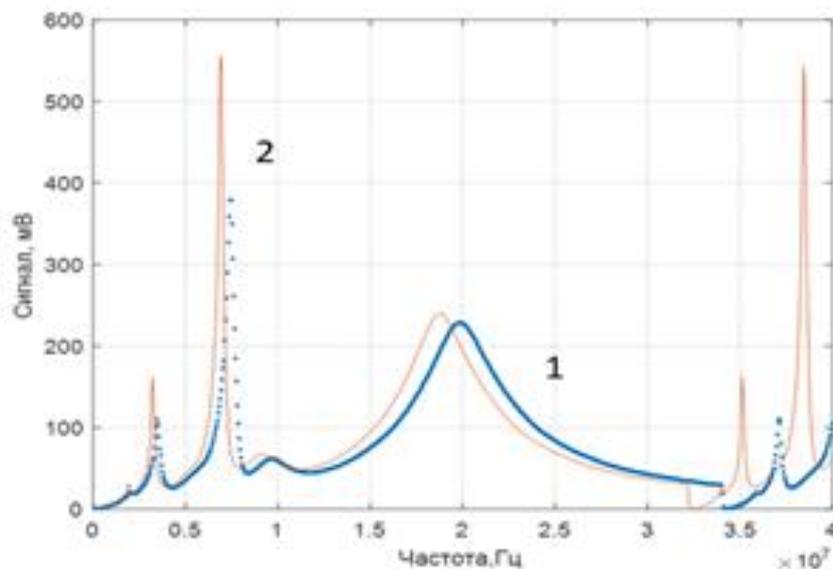


Рисунок 6 - Зависимость сигнала резонансного усилителя от частоты генератора для: 1-воды; 2-удобрения на основе биогумуса.

Как видно из графиков на рисунке 8, частотная зависимость для различных продуктов отличается по амплитуде и частоте.

Выводы по работе:

1. Различные продукты имеют отличные друг от друга электромагнитные характеристики, что отражается на их частотных характеристиках при возбуждении электромагнитным полем;

2. Информация о продукте может содержаться в амплитудах резонансных пиков частотной характеристики, а так же в резонансной частоте конкретного продукта;

3. Для идентификации продукта по его электромагнитной характеристике следует создать базу электромагнитных характеристик для различных продуктов с соответствующим математическим и программным обеспечением.

Список литературы:

1. Черенков, А.Д. Анализ резонансных систем для измерения электрофизических параметров веществ / А.Д. Черенков, Н. П. Кунденко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – №3 (97).

2. Сапрыка, А.В. Анализ методов и технических средств для дистанционного измерения диэлектрических параметров в биологических объектах / А.В. Сапрыка, Р.С. Сингатулин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2018. – №1(17). С.59-67.

3. К вопросу об очистке сахарной свеклы при уборке в условиях ЦЧР / В.И. Горшенин, П.Н. Кузнецов, Н.В. Михеев, С.В. Соловьёв // Наука в центральной России. – 2017. – № 2 (26). С. 13-21.

4. Современные критерии обновления системы ведения садоводства в сельскохозяйственных организациях / М.В. Придорогин, А.С. Гордеев, А.В. Верзилин, А.И. Бутенко, Ю.В. Трунов, А.М. Егоров // Плодоводство и ягодоводство России. – 2019. – Т. 58. – С. 327-340.

5. Использование для садоводства теории мониторинга и аудита среды обитания в моделях био- и геосистем, природно-производственных территориальных комплексов и их компонентов / М.В. Придорогин, А.С.

Гордеев, Ю.В. Трунов, А.Е. Бадин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2018. – № 3 (69). – С. 19-41.

6. Семихина Л.П. Низкочастотная диэлькометрия жидкостей в слабых вихревых электрических полях: Диссертации на соискание ученой степени / Л.П. Семихина. –Л.: Приборостроение, 2016. – 120 с.

7. Разработка информационно-измерительной системы по определению условий роста растений / Б.С. Мишин, И.И. Петина, А.О. Порядина, Т.Ю. Холопова // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 353.

8. НАУЧНАЯ СЕССИЯ НИЯУ МИФИ-2020 по направлению «Инновационные ядерные технологии». Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. 22-23 декабря 2020 г. - М.: НИЯУ МИФИ; Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2020. – 234 с.

9. Исследование влияния лазерного излучения на рост капусты / О.А. Клычникова, Л.В. Брижанский, А.С. Гордеев, Б.С. Мишин // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 211.

10. Мишин, Б.С. Результаты исследований электромагнитных датчиков для определения местоположения корневой системы растений / Б.С. Мишин // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции. Сборник научных трудов. Под общей редакцией В.А. Солопова. – Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2017. – С. 253-256.

UDC 537.811;621.3.087.44

DEVICE FOR MEASURING ELECTROMAGNETIC PROPERTIES OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Kashirin Vyacheslav Alexandrovich
student

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Signatullin Roman Sergeevich

graduate student

Belgorod State Technological University named V.G.Shukhov

Belgorod, Russia

Mishin Boris Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. This article analyzes the possibility of measuring the magnetic properties of biological substances in agriculture.

Key words: agricultural products, magnetic permeability, oscillatory circuit, technique, resonance.