

Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук;
В.И. Бакаленко, доц., канд. техн. наук;
М.Д. Былина, студ.; И.А. Захвей, студ. (БГТУ, г. Минск)

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОВОДИМОСТИ ПОЧВЫ

Для анализа природных сред и растворов используется широкий класс приборов [1], которые в настоящее время используются в сельскохозяйственных исследованиях, включают электрическое сопротивление (ER), временную рефлектометрию (TDR), георадар (GPR), емкостные зонды (CP), радиолокационную рефлектометрию или активные микроволны (AM), пассивные микроволны (PM), электромагнитную индукцию (EMI), нейтронную термализацию, ядерный магнитный резонанс (ЯМР), затухание гамма-излучения и приповерхностное сейсмическое отражение. Наиболее часто, из-за доступности, простоты реализации используют кажущуюся электропроводность почвы (ЕСа), т. е. удельная проводимость. Для ее измерения используют два подхода: контактный и без контактный. Обычные рабочие диапазоны частот безконтактных приборов для этих электромагнитных методов: ЭМИ (от 0,4 до 40 кГц), КП (от 38 до 150 МГц), ГПР (от 1 до 2000 МГц), TDR (от 50 до 5000 МГц), AM (от 0,2 до 300 ГГц) и ФМ (от 0,3 до 30 ГГц) [2].

Интенсивное развитие сельского хозяйства потребовало разработку быстрых, надежных и простых измерений методов измерения ЕСа. Однако очевидно, что на ЕСа влияет не только засоленность, но и множество других свойств почвы, которые влияют на электропроводность в объеме почвы, включая содержание воды θ , содержание глины и минералогию, органическое вещество, объемную плотность (ρ_b) и температуру. Результат взаимосвязи и взаимодействия этих свойств почвы определяет значение ЕСа. Решающим фактором развития контактного метода измерения ЕСа простым в проведении на больших площадях. Особенно когда для этого стали применяться автоматизированные методы привязки измерений к геолокации. Платформы, смонтированные на тракторах и вездеходах, сделали интенсивные измерения в масштабе поля обычным явлением. Особенно часто электропроводность используют для оценки солености почв.

В самом простейшем случае, для определения ЕС почвенный раствор помещают между двумя электродами и на определенном расстоянии. Электропроводность является обратной величиной сопротивления:

$$EC_T = k / R_T,$$

где EC_T – электропроводность раствора в См м^{-1} при температуре

T (°C), k – постоянная ячейки, а R_T – измеренное сопротивление при температуре T . Электролитическая проводимость увеличивается со скоростью приблизительно 1,9 процента на каждый градус Цельсия. Обычно EC рассчитывают для температуры 25°C. Для пересчета используют формулы

$$EC_{25} = f_T EC_T,$$

где $f_T \approx 0,447 + 1,4034 \exp(-T/26,815)$ – коэффициент преобразования температуры.

Лучшим решением для измерения засоленности использовать вытяжки, но из сложности и временных затрат чаще всего используют непосредственное измерение проводимости ECa , хотя это и сопряжено со сложностью интерпретации результатов измерения. Используются и другие подходы для измерения ECa , как например ER и EMI, которые легко сделать переносными и использовать в полевых условиях. Наиболее часто для измерения электрического сопротивления используют схему на четырех электродах для уменьшения влияния электродных эффектов. Но бывают варианты и с 8 электродами (рис.1). Для простоты расчетов стараются располагать на фиксированных расстояниях, но существуют и варианты пересчета и для более сложной геометрии.

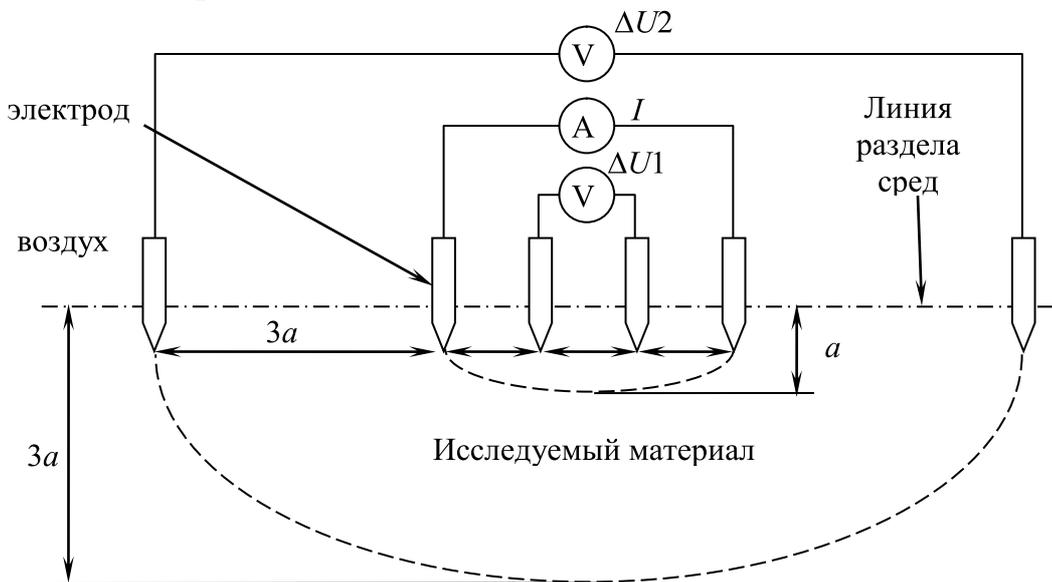


Рисунок 1 – Электродная схема измерения проводимости

Ток измеряется с помощью пары внутренних электродов, а напряжение внешней.

$$ECa = \frac{I + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}{4\pi a \Delta U} I.$$

На рисунке штриховой линией показан примерный объем почвы, который влияет на измерения, так называемый массива Венера [4]. 8 электродная схема позволяет оценить неоднородность проводимости, разделить на слои.

Современные измерительные схемы для датчика строятся на разных технических решениях предварительных усилителях с применением микроконтроллеров. Существует готовое интегральное решение для построения измерителя на базе AD5941 от Analog Devices Inc.

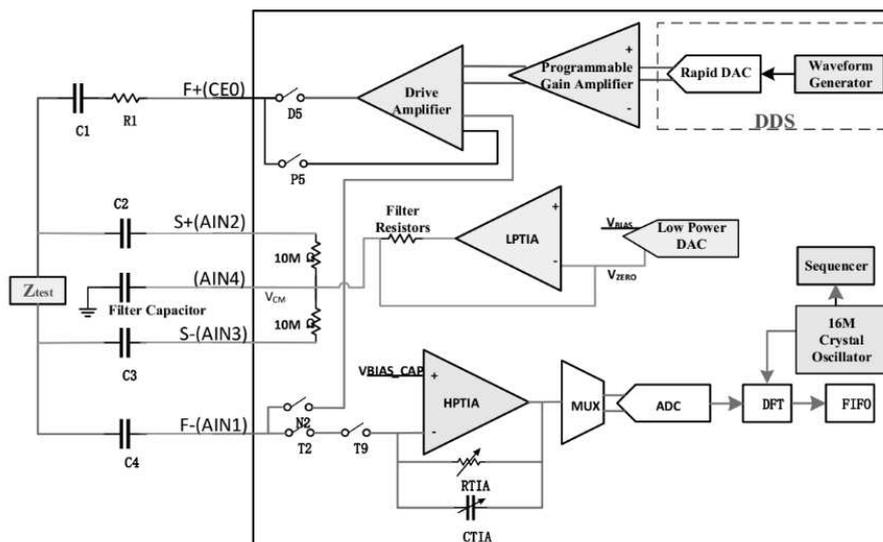


Рисунок 2 – Структура AD5941 и схема подключения

Следует отметить, что для учета сложностей интерпретации измерений для измерительных систем проводимости начали привлекать нейронные сети [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерение влажности почвы / Д. А. Гринюк [и др.] // Химическая технология и техника: материалы 88-й науч.-техн. конф, Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 297-299.
2. Handbook of Agricultural Geophysics. / B. J. Allred [at al]. Penrbit: Taylor & Francis Group. Tahun, 2008. 410 p.
3. Development of a soil electrical conductivity measurement system in paddy fields/ The-Anh Ho [at al] // International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS), Vol. 13, No. 2, June 2024, pp. 389~400.
4. Wenner, F., A method of measuring earth resistivity, in scientific papers of the U.S. Bureau of Standards, No. 258, pp. 469–78, 1915.
5. Mustafa, R., Ansari, A. Comprehensive analysis of soil electrical conductivity: an experimental and machine learning approach. // Discov Civ Eng 1, 82 (2024).