

ние дифференциального усилителя пропорционально разности сигналов на его входах, что позволяет устранить влияние нестабильности амплитуды задающего генератора, так как опорным сигналом является напряжение на выходе детектора 3.

#### **Список использованной литературы**

1. Кричевский, Е.С. Теория практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов: / Е.С. Кричевский, В.К. Бензарь, Н.В. Венедиктов. – Москва: Энергия, 1980. – 240 с.

#### **УДК 621.586.6:631.4**

**Дайнеко В.А., к.т.н., доцент, Равинский Н.А., ст. преподаватель,  
Прищепова Е.М., к.т.н., доцент**

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск*

### **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ**

Измерительные преобразователи (датчики) влажности почв применяют в системах контроля и управления технологическими процессами в теплицах и на объектах орошаемого земледелия. Такие датчики должны обеспечивать достоверные непрерывные измерения, необходимые для поддержания оптимальной влажности почв и тепличных грунтов, что важно для фотосинтеза, транспирации и предотвращения болезней растений [1].

Принцип действия датчиков влажности почвы основан на зависимости диэлектрических параметров почв от содержания в них воды; как правило, измерения проводятся на высоких (ВЧ) и сверхвысоких (СВЧ) частотах [2].

В *ВЧ-датчиках* может использоваться метод рефлектометрии во временной области (*TDR*) или частотной области (*FDR*), где электромагнитный импульс на частотах 10-400 МГц посылается по электродам-зондам. Скорость импульса и частота волны меняются в зависимости от влажности почвы. *СВЧ-датчики (резонаторные и полосковые)* работают на более высоких частотах (1-10 ГГц). Например, в СВЧ-резонаторе измеряют диэлектрические параметры ма-

териала, помещённого в его поле; в полосковом датчике измеряют ослабление электромагнитной волны в материале. Существуют также *беспроводные СВЧ-датчики на основе RFID-меток*, которые могут передавать данные из слоя почвы [3]. ВЧ-датчики на основе *FDR/TDR* подходят для исследований и тепличного хозяйства. Беспроводные СВЧ-системы на *RFID-метках* могут стать бюджетным и простым решением для автоматизированного полива на больших площадях. Датчики влажности легко интегрируются с системами управления поливом, что позволяет экономить воду и повышать урожайность.

Рефлектометрия во временной области (*TDR*) – это метод косвенного измерения влажности почвы, основанный на определении времени прохождения высокочастотного электромагнитного импульса через почву. Это время используется для расчета диэлектрической проницаемости материала. Зонды *TDR* вводятся непосредственно в почву для проведения измерений на необходимой глубине. Время измерения не превышает несколько секунд, рефлектометр подключают к системе непрерывной регистрации данных.

Диэлектрическая проницаемость воды составляет около 80, в то время как большинство твёрдых компонентов почвы имеют диэлектрическую проницаемость от 2 до 7, а диэлектрическая проницаемость воздуха равна 1. Следовательно, диэлектрическая проницаемость почвы является хорошим параметром для расчёта её влажности.

Метод *TDR* измеряет скорость распространения высокочастотного сигнала. Скорость распространения в почве ( $v$ ) можно рассчитать по следующей формуле:

$$v = c / \sqrt{\varepsilon^*}, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость распространения электромагнитных сигналов и света в вакууме, м/с;

$\varepsilon^*$  – комплексная диэлектрическая проницаемость почвы.

Рефлектометр (*TDR*), применяемый для определения влажности почвы, представляет собой прибор, в котором импульс напряжения с очень коротким фронтом распространяется и отражается от конца линии передачи или зондов в почве. По времени распространения  $t$  импульса, проходящего по линии передачи длиной  $L$  рассчитывается диэлектрическая проницаемость почвы в точке контроля влажности.

Установлено [1], что соотношение между объёмным содержанием влаги и диэлектрической проницаемостью воды незначительно зависит от текстуры почвы, её пористости и содержания солей.

Рефлектометрия в частотной области (*FDR*) – это метод измерения влажности почвы, основанный на определении диэлектрической проницаемости грунта с помощью электромагнитных импульсов. В отличие от импульсной рефлектометрии (*TDR*), *FDR* использует непрерывный синусоидальный сигнал для сканирования всего диапазона частот, что позволяет избежать искажений, характерных для широкого спектра импульсов, и получить более точные результаты. Кроме режима сканирования частот применяют режим измерения амплитуды и фазы сигнала прошедшего через почвенный зонд. По этим параметрам рассчитывается влажность почвы. Использование узкополосного синусоидального сигнала позволяет избежать искажений, присущих импульсным методам, и получить более точные результаты.

*RFID* или радиочастотная идентификация использует радиоволны для автоматической идентификации и отслеживания меток, прикрепленных к объектам. *RFID*-метка – это электронное устройство для автоматической идентификации объектов на расстоянии с помощью радиоволн. Она состоит из микрочипа, хранящего данные, и антенны, которая принимает и передает радиосигналы. Считыватели (ридеры) обмениваются данными с меткой, что позволяет быстро идентифицировать и отслеживать объекты без необходимости их физического контакта или прямой видимости. В сельском хозяйстве *RFID*-метки можно использовать для отслеживания роста и здоровья растений. Датчики, прикрепленные к меткам, могут предоставлять данные о влажности почвы, уровне питательных веществ и других параметрах окружающей среды.

### Список использованной литературы

1. Кричевский, Е.С. Теория практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов: / Е.С. Кричевский, В.К. Бензарь, Н.В. Венедиктов. – Москва: Энергия, 1980. – 240 с.
2. Совершенствование автоматизированной системы управления выращиванием овощей в малообъемной культуре на искусственных субстратах / Л.С. Герасимович, В.А. Дайнеко, Ю.В. Гагаков, С.П. Король // Аграрная энергетика в XXI-м столетии : Материалы 2-ой международной научно-технической конференции. – Минск, 2003. – С. 128–129.
3. AURORAS/ Your next sense [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.auroras.eu/soil-moisture-sensor-types-and-technology/>. – Дата доступа: 12.11.2025.