

УДК 621.317.33

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ ВЫСОКООМНЫХ ОБЪЕКТОВ

К. т. н. А. В. Алексашин¹, В. В. Горкун², д. т. н. К. Л. Шевченко³¹Одесская национальная академия пищевых технологий;²Киевский национальный университет технологий и дизайна;³НТУУ «Киевский политехнический институт»

Украина, г. Киев

autom1@meta.ua

В работе показана возможность использования шумового метода для измерения сопротивлений. Предложена схема устройства и описан алгоритм его работы. Рассмотренный метод не требует пропускания тока через контролируемый объект

Ключевые слова: тепловой шум, измерение, высокоомный объект.

Электрические параметров исследуемых объектов (ИО) с успехом используются для оценки их количественных и качественных характеристик. Например, по величине электрического сопротивления оценивают концентрацию растворов, влажность твердых и сыпучих материалов и др. Такие измерения предполагают пропускание электрического тока через ИО, что в ряде случаев недопустимо.

Целью данной работы является разработка устройства, обеспечивающего возможность измерения сопротивлений высокоомных ИО без приложения к ним зондирующего напряжения.

Любому физическому объекту, имеющему активные потери электрической энергии, присущи тепловые шумы (ТШ). ТШ является следствием теплового хаотического движения носителей заряда, находящихся в тепловом равновесии с молекулами вещества объекта [1].

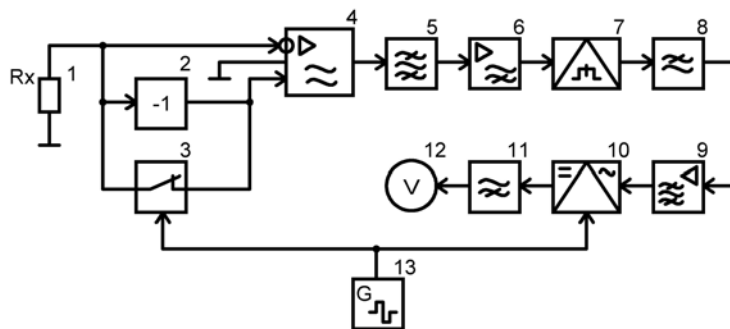
Средний квадрат напряжения ТШ U^2 описывается формулой Найквиста

$$\overline{U^2} = 4kT\Delta fR, \quad (1)$$

где k — постоянная Больцмана; T — температура ИО; Δf — полоса частот ТШ; R — электрическое сопротивление ИО.

Сложность измерения заключается в том, чтобы выделить информативную составляющую ТШ ИО на фоне шумов измерительной схемы [2]. Для выделения и преобразования информационных шумовых сигналов целесообразно применять коммутационно-модуляционные методы [3].

На рисунке показана схема шумового измерителя сопротивлений высокоомных объектов.



Функциональная схема шумового измерителя сопротивлений: 1 — объект измерения; 2 — инвертор; 3 — автоматический ключ; 4 — дифференциальный усилитель (ДУ); 5 — полосовой фильтр; 6 — усилитель высокой частоты; 7 — квадратичный детектор; 8, 11 — фильтры нижних частот (ФНЧ); 9 — избирательный усилитель (ИУ); 10 — синхронный детектор; 12 — вольтметр; 13 — мультивибратор

Шумовой информационный сигнал $U_x(t)$, который снимается с сопротивления ИО R_x , разветвляется на два одинаковых напряжения $U_1(t)=U_2(t)=U_x(t)$.

Одно из разветвленных напряжений $U_1(t)$ периодически инвертируется с помощью инвертора и автоматического ключа. Если шумовой сигнал $U_x(t)$ представить в комплексном виде как U_x , то периодически инвертированный сигнал $U_x(t)$ можно представить как временную последовательность комплексных напряжений $+U_1$ и $-U_1$.

Инвертированное напряжение U_2 с помощью ДУ периодически сравнивают с напряжением $+U_1$ и $-U_1$. Собственные шумы ДУ обычно превышают информационный шум U_x . При замкнутом ключе инвертирование сигнала отсутствует и разностное напряжение на выходе усилителя ($U_1-U_2=0$) определяется только его собственными шумами:

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_H + \dot{U}_B, \quad (2)$$

где \dot{U}_H и \dot{U}_B — напряжения низкочастотных и высокочастотных шумов, приведенные к выходу ДУ.

В разомкнутом состоянии автоматического ключа напряжение определяется как

$$\dot{U}_4 = \dot{U}_H + \dot{U}_B - 2k_1\dot{U}_X, \quad (3)$$

где k_1 — коэффициент усиления ДУ.

Частоту переключений ключа выбирают в области низких частот (50...300 Гц). В результате на выходе ДУ формируется разностное модулированное напряжение, состоящее из пакетов (2) и (3).

Модулированное напряжение детектируется, в избирательном усилителе выделяется и усиливается основная гармоника низкочастотной огибающей. Напряжение на выходе ИУ описывается выражением

$$U_{10} = \frac{16}{\pi} k_4 k_3 S_1 \left(k_1 \overline{\dot{U}_X^2} - \overline{\dot{U}_B \dot{U}_X} \right) \sin 2\pi Ft + \Delta \overline{\dot{U}_H}, \quad (4)$$

где S_1 — крутизна квадратичного детектирования; k_3, k_4 — коэффициенты передачи ФНЧ и ИУ; F — частота переключения ключа; $\overline{}$ — означает операцию усреднения.

Учитывая, что тепловые шумы объекта и шумы ДУ между собой некоррелированы и их усредненное произведение равно нулю, выражение (4) приводится к виду

$$U_{10} = \frac{16}{\pi} k_1^2 k_2^2 k_4 k_3 S_1 \overline{U_X^2} \sin 2\pi Ft + \Delta U_H(t). \quad (5)$$

После синхронного детектирования и усреднения в ФНЧ на вольтметр 12 поступает напряжение, пропорциональное сопротивлению ИО и не зависящее от уровня шумов ДУ:

$$U_{12} = S_0 R_X, \quad (6)$$

где S_0 — результирующая крутизна преобразования сопротивления в напряжение.

Разработанное устройство позволяет измерять сопротивления ИО от 1 до 100 МОм при усилении на 80 дБ в полосе пропускания 100 кГц относительно частоты 1 МГц. При этом к ИО не прикладывается внешнее зондирующее напряжение.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Скрипник Ю. О., Шевченко К. Л. Радіотепловий метод неруйнівного контролю діелектричних матеріалів і виробів / Вісник КНУТД.— 2005.— № 5.— С. 30—36.
2. Ван-дер-Зил А. Шум. Источники, описание, измерение / Пер. с англ.— Москва: Сов. радио, 1973.
3. Скрипник Ю. А., Шевченко К. Л. Модуляционный радиометр // 14-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». — Украина, г. Севастополь, 2004.— С. 747—750.

Aleksashin A.V., Shevchenko K. L., Gorkun V. V.

Measuring the resistance of low conductivity objects.

The paper shows the possibility of using the method of resistance measurement noise. The circuit of the device and the algorithm of its operation are presented. The considered method does not require current passing through the controlled object.

Keywords: *thermal noise, measurement, high-resistance object.*