

СХЕМЫ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА СВЕЖЕУБРАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Известно, что электрическое сопротивление живой ткани имеет комплексный характер [1]. Разными исследователями было предложено несколько электрических эквивалентных схем замещения этой ткани. Наибольшее признание и распространение получила схема, приведенная на рис. 1. Исследования подтвердили, что она достаточно точно отражает электрические свойства материала, причем $R_3 \gg R_1 \gg R_2$. Электрическое сопротивление мертвых биологических объектов имеет чисто активный характер. Это явление может быть использовано для оценки эффективности обработки растительных материалов в современных сельскохозяйственных, пищевых и медицинских технологиях. Для повышения наблюдаемости таких технологических процессов разрабатываются методы и устройства контроля, основанные на измерениях электрических свойств растительных материалов, в которых имеет место изменение их электрического импеданса при обработке.

В качестве характеристик оперативного контроля могут быть использованы такие величины, как электрическое активное, реактивное, полное сопротивления, электрическая емкость, фаза и диэлектрическая проницаемость материала [2, 4]. Устройства контроля можно представить в виде двух основных блоков, первичного измерительного преобразователя (ПИП) и измерительного блока, реализующего тот или иной способ измерения входного импеданса ПИП с исследуемой тканью. Проведенный анализ возможных способов реализации таких ПИП позволил сделать вывод, что все приемлемые конструкции представляют собой варианты контактных двух-, трех- или четырехэлектродных ПИП. На величину импеданса контактного ПИП в простейшем случае оказывают влияние [1, 3] межэлектродная (паразитная) емкость C_3 ПИП и составляющие R_1, R_2, R_3, C_X полного сопротивления Z_X контролируемого объема растительной ткани.

Наиболее простая из возможных электрических схем замещения ПИП с материалом – это двухэлектродная эквивалентная, приведенная на рис. 2. Она включает в себя дополнительно к схеме замещения живого растительного материала только C_3 – межэлектродную (паразитную) емкость ПИП, применяется при достаточно высоких частотах, когда можно пренебречь приэлектродными эффектами поляризации.

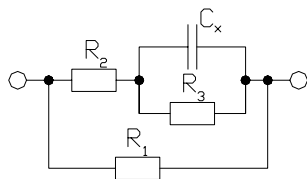


Рис. 1 Эквивалентная электрическая схема замещения живой растительной ткани

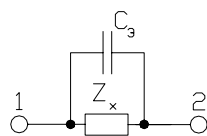


Рис. 2 Простейшая двухэлектродная эквивалентная схема замещения ПИП с живой растительной тканью

Вторая (рис. 3) и третья (рис. 4) схемы замещения двухэлектродного ПИП дополнительно учитывают поляризационную емкость C_S и поляризационное сопротивление R_S в приэлектродной области. В этих схемах [3]: $R_S = \theta + \eta/\sqrt{\omega}$ – активное и $C_S = 1/(\eta\sqrt{\omega})$ – реактивное сопротивления импеданса Варбурга; θ – активное сопротивление электрохимической поляризации (переносу заряда или току Фарадея); η – коэффициент (константа) импеданса Варбурга; $\omega = 2\pi f$ – частота напряжения питания первичного преобразователя. Эти схемы отличаются тем, что в первом случае электродная (паразитная) емкость C_3 включается параллельно только к схеме замещения живого материала, во втором – параллельно всей схеме замещения ПИП.

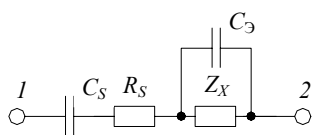


Рис. 3 Схема замещения двухэлектродного ПИП с включением межэлектродной емкости параллельно схеме замещения живой ткани

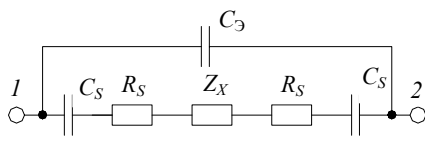


Рис. 4 Схема замещения двухэлектродного ПИП с включением межэлектродной емкости параллельно всей схеме замещения ПИП

Наиболее сложная из двухэлектродных эквивалентных схем приведена на рис. 5. В этой схеме дополнительно учтены C_1 – емкость подводящих проводов и C_D – емкость двойного электрического слоя [3].

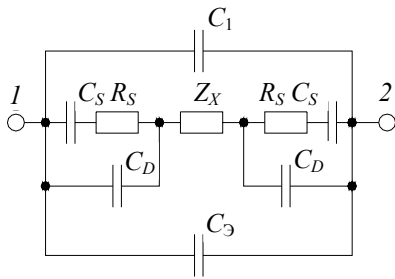


Рис. 5 Электрическая эквивалентная схема замещения двухэлектродного ПИП, учитывающая:
 C_1 – емкость подводящих проводов; C_3 – межэлектродную емкость; C_S – емкость и R_S – сопротивление, определяющие реактивную и активную составляющие импеданса Варбурга; C_D – емкость двойного электрического слоя

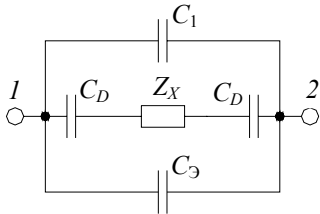


Рис. 6 Электрическая эквивалентная схема замещения двухэлектродного ПИП (для случая, когда составляющими импеданса Варбурга можно пренебречь)

Если емкость двойного электрического слоя C_D достаточно большая, а частота напряжения питания измерительной цепи выбрана такой, что сопротивление двойного электрического слоя много меньше модуля полного сопротивления импеданса Варбурга [3], то схема, рассмотренная на рис. 5, преобразуется в схему, приведенную на рис. 6.

Если измерения проводятся на частотах напряжения питания ПИП в диапазоне изменения электропроводности живой ткани, при которых сопротивление двойного электрического слоя много меньше модуля полного сопротивления растительной ткани и сопротивлением подводящих проводов можно пренебречь $Z_X \gg |1/(\omega C_D)|$, эквивалентная электрическая схема замещения принимает знакомый вид, представленный на рис. 2.

С целью уменьшения влияния источников погрешностей, связанных с электрохимическими процессами на границе раздела электрод – живая ткань, применяют более сложные трех- или четырехэлектродные ПИП. Их применение уменьшает влияние составляющих поляризационного импеданса Варбурга на результат измерения [3]. Один из вариантов эквивалентной электрической схемы замещения трехэлектродного ПИП приведен на рис. 7, где 1, 2, 3 – электроды этого ПИП. Полные сопротивления объемов анализируемого материала Z_{X1} и Z_{X2} могут быть не равны друг другу. Эквивалентная электрическая схема четырехэлектродного ПИП приведена на рис. 8. Полное сопротивление измеряемого объема ткани между токовыми электродами 1 и 4 состоит из трех последовательно включенных сопротивлений Z_{X1} , Z_{X2} и Z_{X3} .

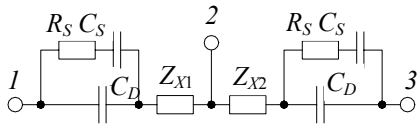


Рис. 7 Электрическая эквивалентная схема замещения трехэлектродного ПИП

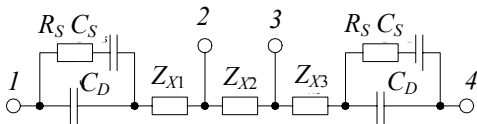


Рис. 8 Электрическая эквивалентная схема замещения четырехэлектродного ПИП

Падение напряжения на участке анализируемой живой растительной ткани имеет сопротивление Z_{X2} , которое снимается потенциальными электродами 2 и 3.

ПИП являются основными источниками погрешностей измерительных устройств. Для уменьшения влияния этих источников используются как конструктивные, так и технологические приемы [3, 4].

Уменьшение влияния поляризационного импеданса можно достичь, увеличив истинную поверхность электродов за счет нанесения губчатых покрытий (планирование) или травления поверхности электродов [3].

С целью уменьшения влияния емкости подводящих проводов увеличивают расстояние между выводами электродов или применяют эквипотенциальную защиту выводов и измеряемого объема живой растительной ткани.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Биофизика / Под ред. Б.Н. Тарусова, О.Р. Кольс. М.: Высшая школа, 1968. 407 с.
- 2 Мищенко С.В., Пономарев С. В., Жилкин В.М., Сахарова Э.А. Датчик автоматического контроля процесса сокоизвлечения из сахарной свеклы // Датчики и системы. 1999. № 4, С. 36 – 40.
- 3 Лопатин Б.А. Теоретические основы электрохимических методов анализа. М.: Высшая школа, 1975. 295 с.
- 4 Жилкин В.М., Илясова С.А. Метрологические и технические характеристики датчиков оперативного контроля эффективности подготовки растительных материалов к влажному фракционированию // Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции: Материалы школы-семинара. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. С. 108 – 110.