

**Уменьшение погрешности измерения
комплексной диэлектрической
проницаемости методом измерения в
широком диапазоне частот, используя
схему замещения, содержащую
ИНДУКТИВНОСТЬ.**

Выполнила:

студентка очной формы обучения
группы ФРМ-402-о-07,
Крошка Елена Сергеевна

Научный руководитель:

д.ф.-м.н., профессор
Бобров Павел Петрович

При использовании методов измерения, описанных в [1, 2], погрешность измерения действительной части ε' КДП веществ с невысокими потерями может быть от 0,4 до 5 %.

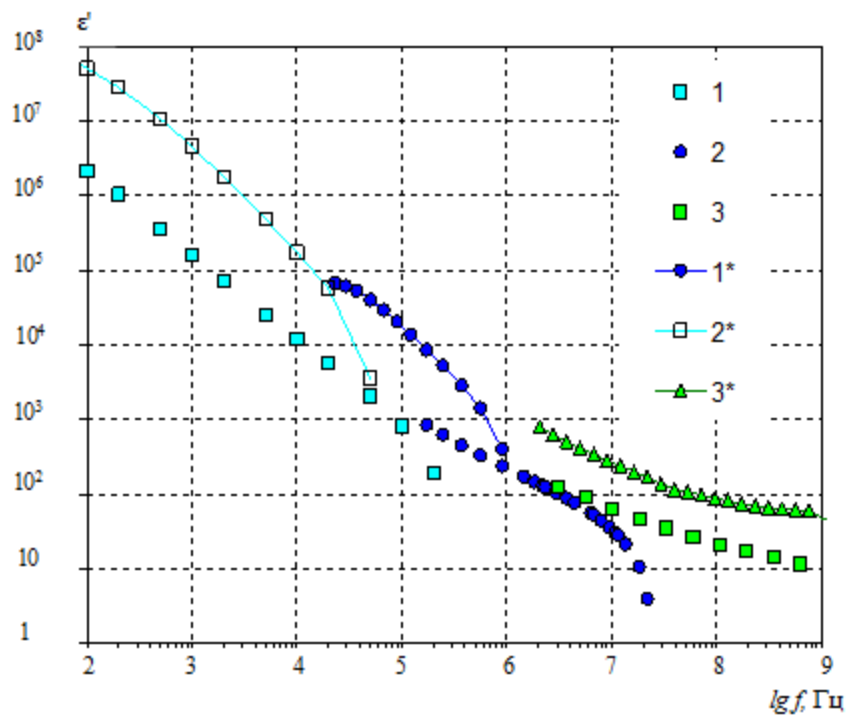
Однако, при измерении сред с достаточно большой удельной проводимостью более 0,1 См/м погрешность измерения ε' этим методом в диапазоне частот от 1 до 100 МГц может возрасти до 50–100%, особенно на частотах вблизи 1 МГц.

Поэтому и возникает проблема стыковки измеренных данных действительной части ε' КДП, определённой в разных частотных диапазонах разными приборами или методами.

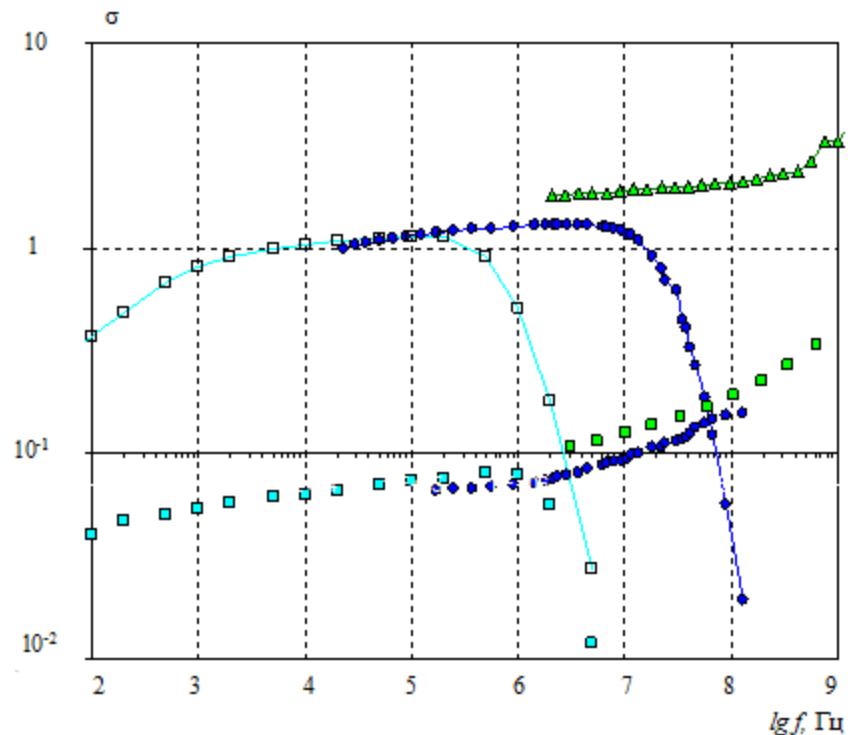
[1] Бобров П.П., Кондратьева О.В., Репин А.В. Измерение комплексной диэлектрической проницаемости образца в одной ячейке от десятков герц до единиц гигагерц // Известия Вузов. Физика. 2012. № 8/3. С. 23–26.

[2] Bobrov P. P., Repin A. V., Rodionova O. V. Wideband Frequency Domain Method of Soil Dielectric Properties Measurements // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2015. – Vol. 53, № 5. P. 2366–2372 .

На следующих рисунках приведены частотные зависимости ε' и удельной проводимости σ для образцов бентонита с объемными влажностями $W=0,143$ и $W=0,236$ и соленостью 5% (NaCl по массе).



(а)



(б)

Рис. 1. Частотная зависимость ε' (а) и σ (б) для бентонита объемной влажностью 0,143 и 0,236 в широком диапазоне частот.

1,2,3 – бентонит $W=0,143$

1*,2*,3* – бентонит $W=0,236$

Цель работы.

Целью работы является рассмотрение проблемы измерения комплексной диэлектрической проницаемости (КДП) в различных диапазонах частот, связанной с согласованием действительной части комплексной диэлектрической проницаемости, определённой в разных частотных интервалах разными приборами или методами.

Методика измерения КДП бентонита:

Для измерения комплексной диэлектрической проницаемости в широком диапазоне частот использовали методику, описанную в работах [1, 2].

В данной работе в качестве исследуемого образца была использована подготовленная смесь бентонита и соли (NaCl 5% по массе), которая выдерживалась неделю при комнатной температуре в плотно закрытом сосуде. Затем, в сосуд было добавлено небольшое количество дистиллированной воды, далее образец снова выдерживался неделю при комнатной температуре в плотно закрытом сосуде для достижения желаемого значения влажности.

3. Ячейки для измерения КДП на частотах 100 МГц – 8,5 ГГц подключались к векторному анализатору цепей непосредственно. При этом КДП рассчитывалась через измеренный комплексный коэффициент передачи.

2. Для измерения в диапазоне частот 0,3 – 100 МГц ячейки включались в разрыв центрального проводника коаксиальной линии большего сечения.

1. После этого отрезок линии большего сечения (бокс) подключался к измерителю LCR.

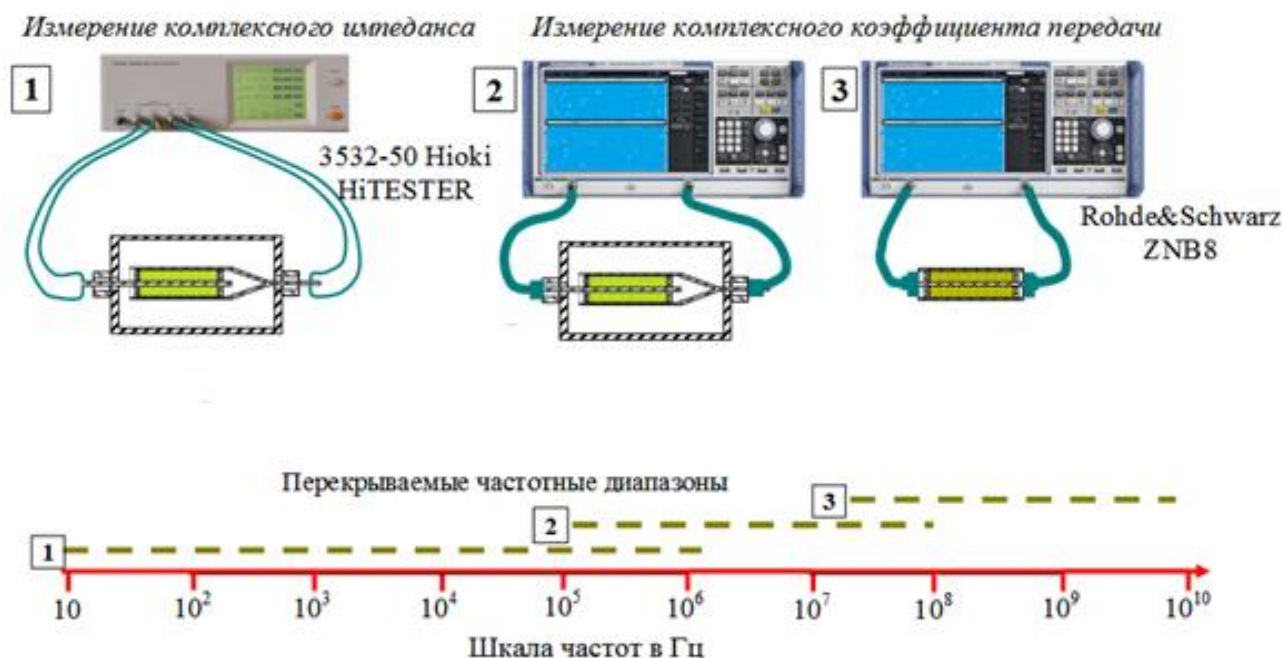


Рис 2. Схема измерений в широкой полосе частот

Измерения в диапазоне частот 10 кГц – 1 МГц производились с помощью измерителей LCR HiTESTER (производство японской фирмы HIOKI), а в диапазоне частот 1 МГц – 4 ГГц с помощью векторного измерителя параметров цепей ZNB8 (производство фирмы Rohde & Schwarz).



Рис 3. Вид экспериментальной установки.

- 1 – климатическая камера TH-ME-25; 2 – измеритель 3532-50 LCR HiTESTER;
3 – измерителя параметров цепей ZNB8.

При относительно невысокой удельной проводимости (менее 0,5 См/м) меньшую погрешность измерения в диапазоне частот 50–100 МГц можно получить, измеряя комплексный коэффициент отражения образца малой длины [3] при коротком замыкании на выходе .

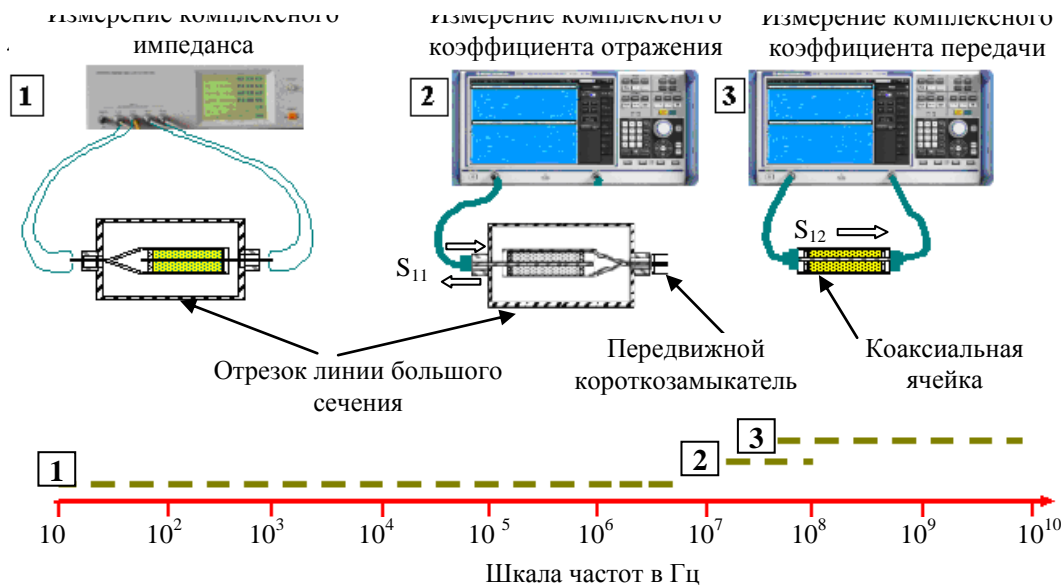


Рис 4. Схематическое изображение экспериментальной установки для определения частотной зависимости комплексной диэлектрической проницаемости образца при использовании передвижного короткозамыкателя.

[3]Репин А.В., Беляева Т.А., Родионова О.В., Крошка Е.С. Способы уменьшения погрешности измерения комплексной диэлектрической проницаемости материалов с высокой электропроводностью // Известия вузов. Физика. 2015. Т. 58. № 8/2. С. 32-35.

На рис. 5 представлена эквивалентная схема отрезка коаксиальной линии с расположенной в ней ячейкой, в виде цепи с сосредоточенными параметрами.

Здесь C_0 – рабочая емкость (емкость отрезка пустой ячейки между внутренними опорными шайбами); C_{Π} – паразитная емкость, образованная частями ячейки за пределами исследуемого образца (включающими опорные шайбы); G – активная проводимость ячейки; отрезок длиной l_0 замещает линию передачи большого сечения, центральным проводником которой является корпус ячейки; l – длина короткозамкнутого отрезка, меньшая четверти длины волны; L – эквивалентная индуктивность этого отрезка. Значения емкостей C_1 и C_{Π} определялись при калибровке на материалах с известными характеристиками.

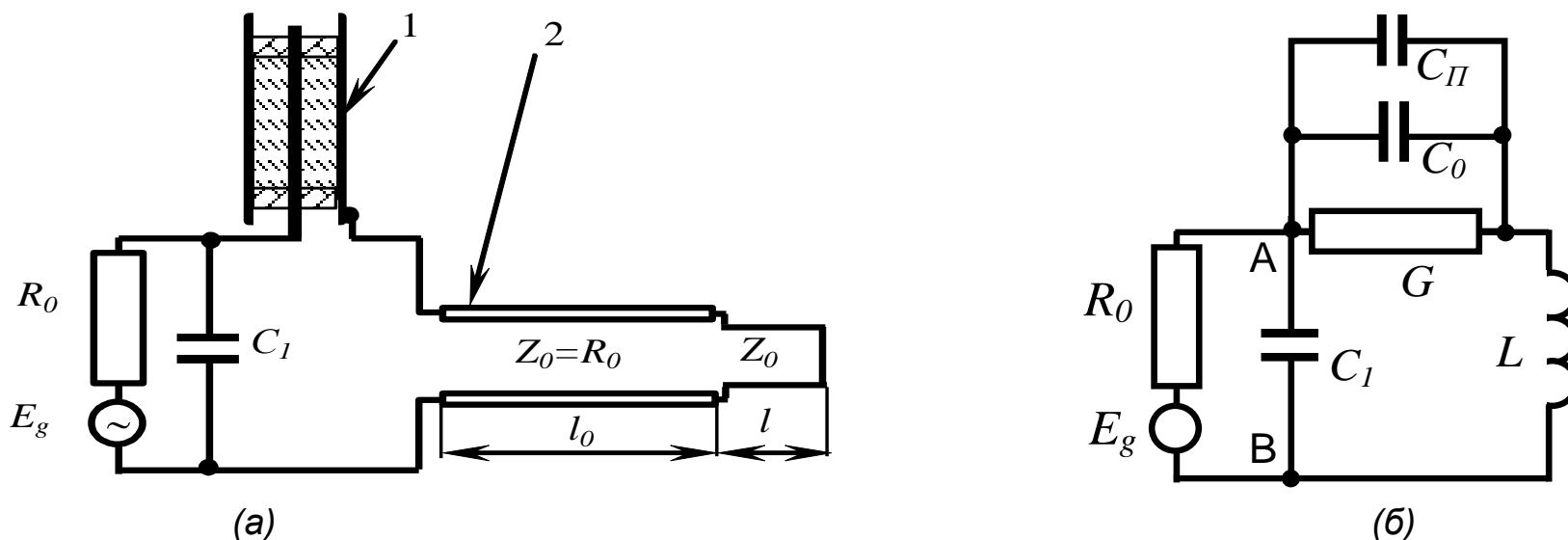


Рис. 5. Эквивалентная схема измерительной цепи при измерении коэффициента отражения (а) и ее представление в виде цепи с сосредоточенными параметрами (б).

В работе [3] была рассмотрена схема замещения исследуемого образца, представленная на рис. 6 для улучшения стыковки и уменьшения погрешности определения КДП.

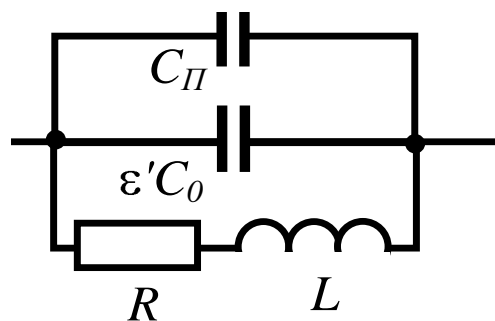
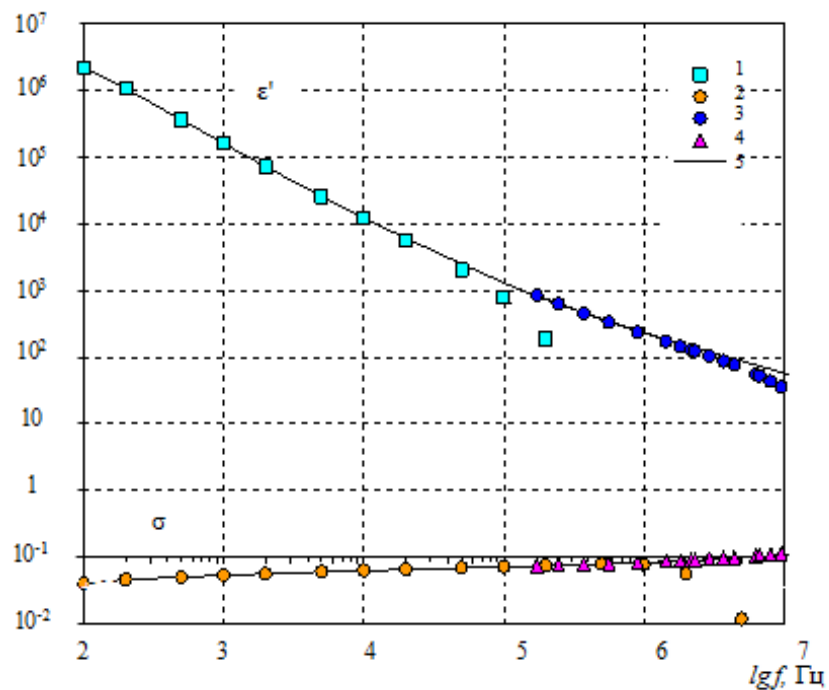


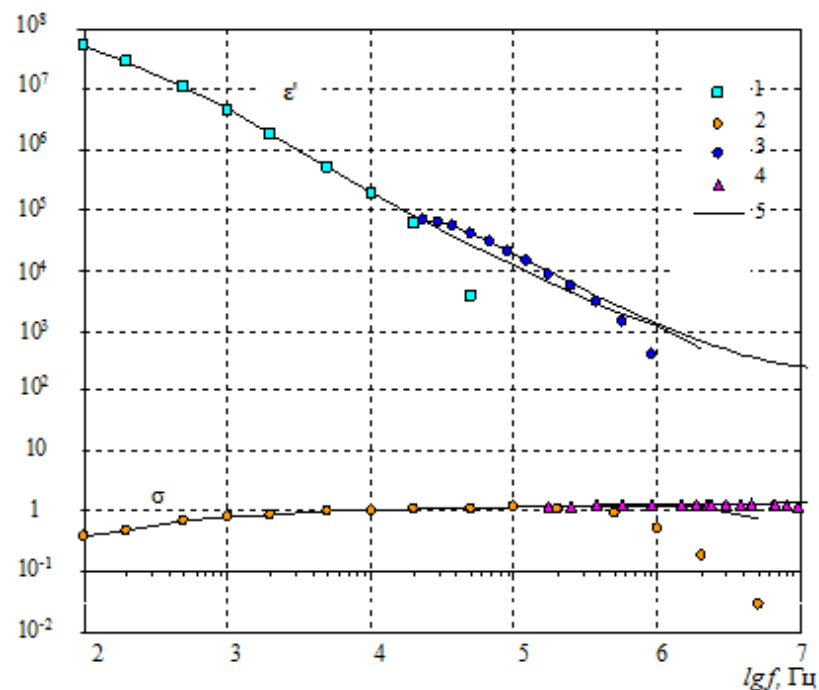
Рис. 6. Схема замещения исследуемого образца с высокой проводимостью.

Подбирая индуктивность образца путем сравнения значений ε' в перекрывающихся частотных интервалах, можно существенно улучшить стыковку значений ε' , полученных в диапазоне частот 2-100 МГц со значениями в соседних частотных интервалах.

На следующих рисунках приведены частотные зависимости ε' и удельной проводимости σ для образцов бентонита с объемными влажностями $W=0,143$ и $W=0,236$ и соленостью 5% (NaCl по массе).



(а) $W=0,143$



(б) $W=0,236$

Рис. 7. Частотная зависимость ε' и σ для бентонита объемной влажностью 0,143 (а) и 0,236 (б), полученная с помощью бокса, подключенного к измерителю LCR и бокса, подключенного к векторному анализатору цепей.

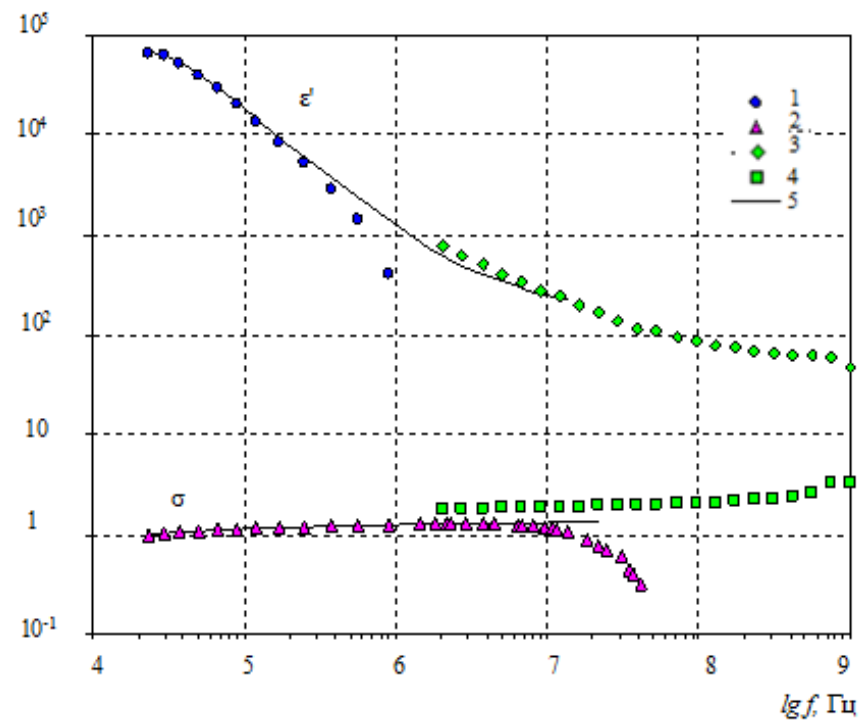
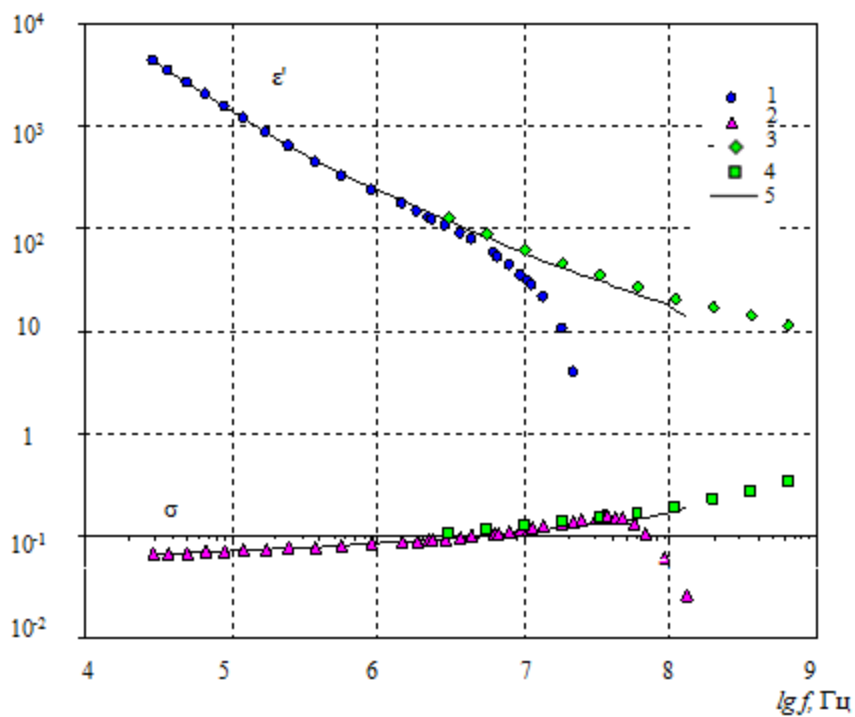


Рис. 8. Частотная зависимость ε' и σ для бентонита объемной влажностью 0,143 (а) и 0,236 (б), полученная с помощью бокса, подключенного к векторному анализатору цепей и ячейки, подключенной к векторному анализатору цепей.



Спасибо за внимание!