

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕТЕЛЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГИСТЕРЕЗИСА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

Гречишкин Р.М.¹, Зигерт А.Д.², Грачев А.Н.³, Егужокова Р.М.⁴, Сорокина О.Д.⁵, Губанов И.А.⁶

¹Гречишкин Ростислав Михайлович - доктор физико-математических наук, профессор;

²Зигерт Александр Дмитриевич - младший научный сотрудник;

³Грачев Алексей Николаевич - младший научный сотрудник;

⁴Егужокова Раиля Маратовна - младший научный сотрудник;

⁵Сорокина Ольга Дмитриевна - магистрант;

⁶Губанов Илья Алексеевич - магистрант

кафедра прикладной физики,
Тверской государственной университет,
г.Тверь

Аннотация: в данной работе были собраны измерительные установки трех методов определения параметров петель диэлектрического гистерезиса сегнетоэлектриков: метод Сойера-Тауэра, метод шунта и метод виртуальной земли. Схемы методов шунта и виртуальной земли были собраны с аппаратным интегратором, также было проведено программное интегрирование выходного сигнала. Были проведены измерения с различным количеством усреднений выходного сигнала, результаты которых были подвергнуты сравнительному анализу. Также проверяется применимость данных методов для частотных и высоковольтных измерений. В работе наглядно показаны достоинства и недостатки приведенных методов определения параметров петель гистерезиса сегнетоэлектриков.

Ключевые слова: петля гистерезиса, сегнетоэлектрик, метод Сойера-Тауэра, метод виртуальной земли, метод шунта, интегратор.

УДК 538.9

1. Введение.

Цель работы: провести сравнительный анализ трех методов построения петель диэлектрического гистерезиса и проверить применимость каждого метода для частотных и высоковольтных измерений.

2. Методика эксперимента.

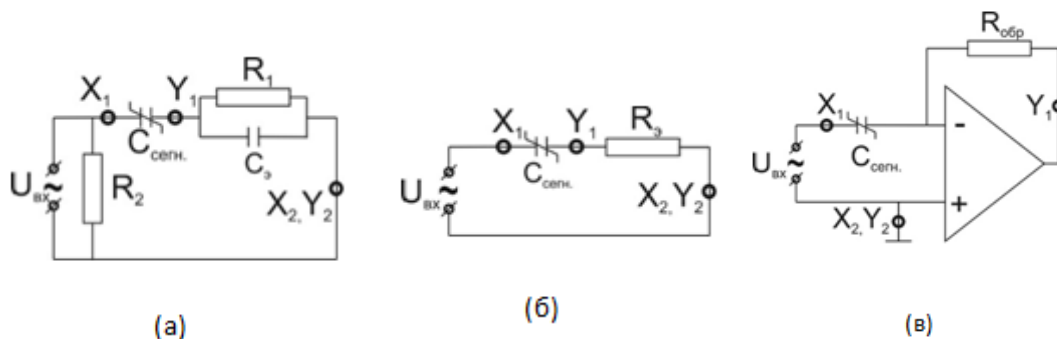


Рис. 1. Измерительные схемы методов измерения параметров петель диэлектрического гистерезиса сегнетоэлектриков (а) Сойера-Тауэра, (б) шунта (в) виртуальной земли

Измерительная схема Сойера-Тауэра основана на определении заряда эталонного конденсатора, соединенного последовательно с сегнетоэлектрическим конденсатором. Падение напряжения на эталонном конденсаторе пропорционально поляризационному заряду $V=Q/C$. [1, 2] Схема измерительной установки метода Сойера-Тауэра представлена на Рис. 1 (а). Здесь C_s – эталонный конденсатор; X_1 , Y_1 , X_2 , Y_2 – места подключения щупов осциллографа. Резистор R_2 нужен для возможности измерения осциллографом больших входных напряжений. Эталонный конденсатор должен выбираться из соображений, что его емкость должна быть гораздо больше емкости измеряемого конденсатора. Таким образом эталонный конденсатор должен быть адаптирован под каждый образец.

Метод шунта основан на измерении тока. Переменный ток определяется на основе падения напряжения на эталонном резисторе ($U=R*I$), и затем интегрируется (например численно), чтобы вычислить поляризационный заряд. Выбор эталонного резистора зависит не только от емкости сегнетоэлектрического образца, но и от частоты возбуждающего сигнала. [3,4] Схема измерительной установки метода шунта представлена на Рис. 1 (б).

Метод виртуальной земли использует преобразователь ток-напряжение, который основан на измерении тока с помощью операционного усилителя и резистора обратной связи. Выход преобразователя ток-напряжение соединяется с инвертирующим входом ОУ через резистор обратной связи, не инвертирующий вход соединяется с землей. [5]Схема измерительной установки метода шунта представлена на рис. 1 (в).

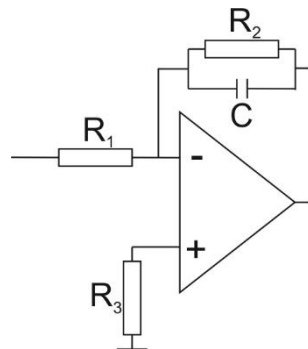


Рис. 2. Схема интегратора

Также в рамках данной работы была собрана схема интегратора на основе операционного усилителя. Использовался операционный усилитель LM358 фирмы TexasInstruments. Номиналы резисторов выбирались для интегрирования низкочастотного сигнала ($f=50\text{Гц}$). Были выбраны следующие номиналы резисторов $R1=5.1\text{кОм}$, $R2=100\text{кОм}$, $R3=33\text{кОм}$.

При проведении измерений использовался осциллограф TektronixMSO4034B.

3. Полученные результаты.

Осциллограф, с помощью которого проводились измерения, имеет функцию усреднения входного сигнала. Эта функция оказалась очень полезной при построении петель гистерезиса, так как позволяет избавиться от посторонних шумов, вызванных, например, плохим экранированием сигнальных проводов или некачественным монтажом электронных компонентов измерительной схемы. На Рис.3. и Рис.4. приведено семейство петель гистерезиса, построенное с использованием функции усреднения и без нее соответственно.[4,6,7]

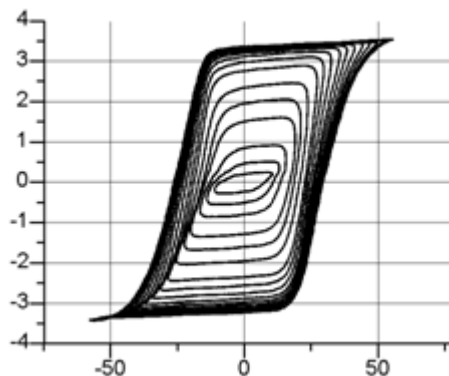


Рис. 3. Семейство петель гистерезиса образца кристалла ТГС. $f=50\text{Гц}$. Метод Сойера-Тауэра. Осциллограф TektronixMSO4034B. 512 усреднений.

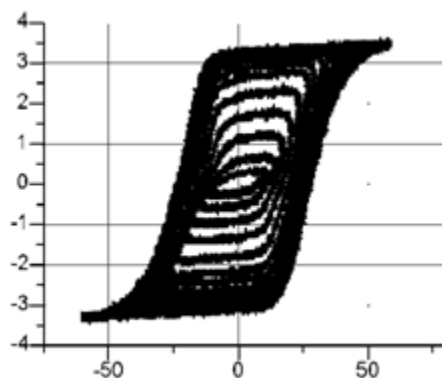


Рис. 4. Семейство петель гистерезиса образца кристалла ТГС. Метод Сойлера-Тауэра. $f=50$ Гц. Осциллограф Tektronix MSO4034B. Без усреднения

К недостаткам методов шунта и виртуальной земли относится необходимость интегрирования выходного сигнала. В отличие от них, в методе Сойлера-Тауэра интегрирование не требуется.

Как видно на Рис.5(а), при построении частотной зависимости формы петли гистерезиса, метод Сойлера-Тауэра не вносит каких-либо искажений формы петли. Таким образом, данный метод позволяет проводить частотные измерения петель гистерезиса без изменений параметров схемы установки.

В отличие от метода Сойлера-Тауэра, методы шунта и виртуальной земли чувствительны к изменению частоты возбуждающего напряжения. Под каждую частоту необходимо подбирать соответствующие шунтирующий резистор или резистор обратной связи. Вдобавок при использовании аппаратного интегратора, возникают фазовые искажения выходного сигнала, связанные с параметрами интегратора, которые делают форму петли непригодной для измерения параметров образца (Рис.5(б)). Таким образом, для измерения частотной зависимости методами шунта и виртуальной земли, необходимо либо для каждой частоты возбуждения подбирать параметры интегратора, либо пользоваться программным интегрированием выходного сигнала.

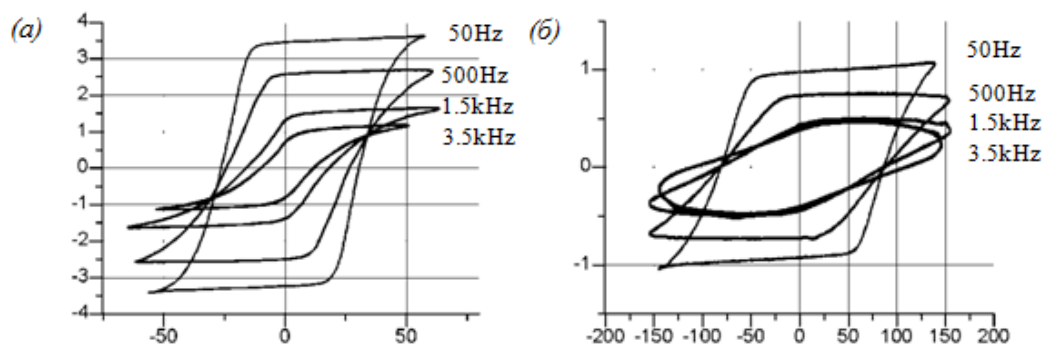


Рис. 5. Частотная зависимость формы петли гистерезиса образца кристалла ТГС. $U_{в}=100$ В. (а) Метод Сойлера-Тауэра, (б) Метод шунта, аппаратное интегрирование

Метод Сойлера-Тауэра не годится для высоковольтных измерений. Ограничение вносит эталонный конденсатор. Для измерения параметров некоторых сегнетоэлектрических образцов понадобится конденсатор емкостью порядка 1 мкФ. Поскольку таким материалам, как пьезокерамика для возбуждения требуются напряжения порядка 1000 В и более, то подобрать конденсатор необходимой емкости, рассчитанный на такое напряжение становится проблематично, к тому же такие конденсаторы стоят дорого.

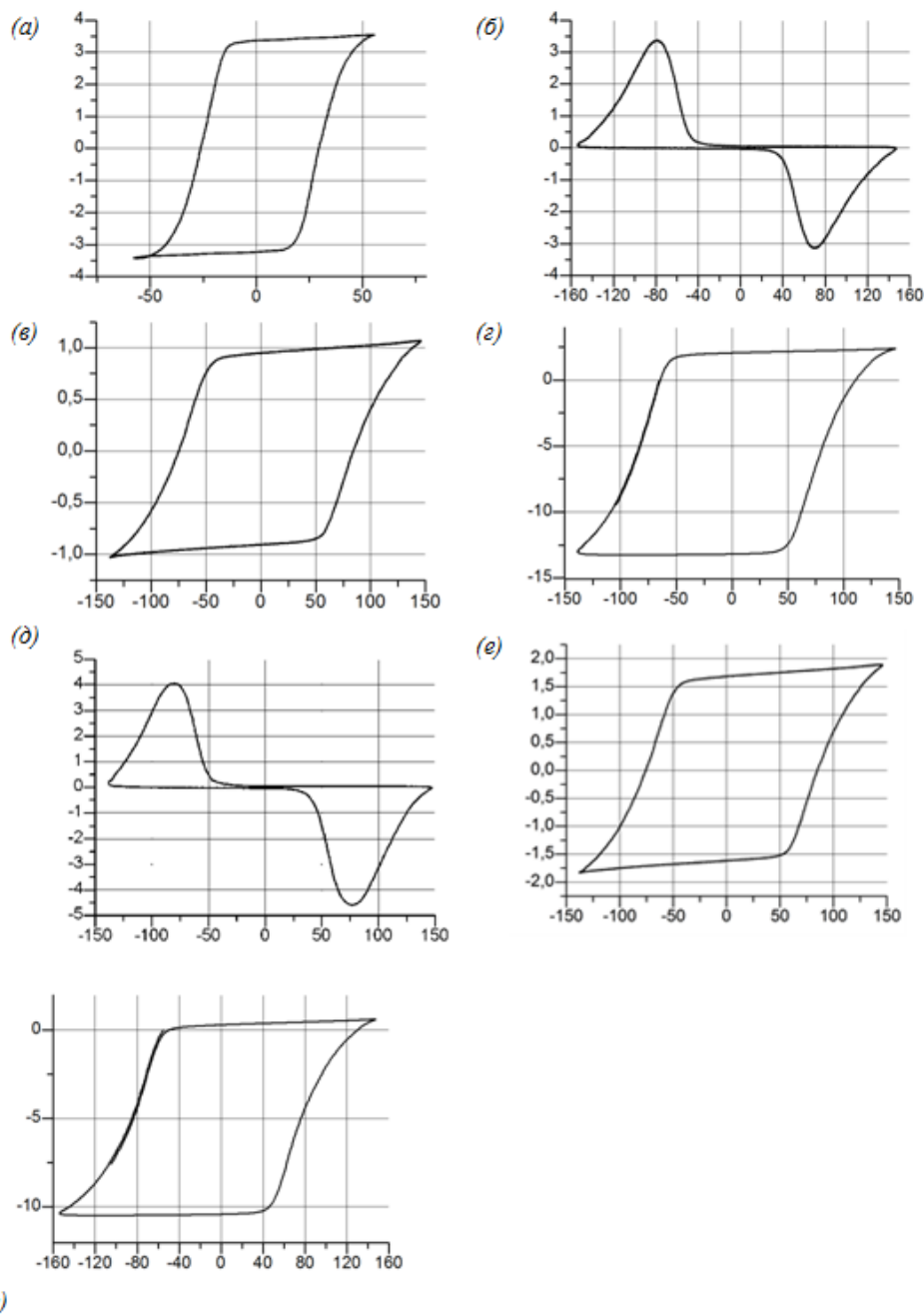


Рис.6. Петля гистерезиса образца кристалла ТТС. (а) - Метод Сойлера-Тауэра, (б) - Метод шунта без интегрирования, (в) - Метод шунта, аппаратное интегрирование, (г) - Метод шунта, программное интегрирование, (д) - Метод виртуальной земли, без интегрирования, (е) - Метод виртуальной земли, аппаратное интегрирование, (ж) - Метод виртуальной земли, программное интегрирование

Для высоковольтных измерений хорошо подходит метод шунта. Поскольку в измерительной схеме этого метода нет конденсатора, в отличие от схемы Сойлера-Тауэра, то мы не имеем ограничений по величине возбуждающего напряжения. Метод виртуальной земли также не вносит ограничений на величину возбуждающего напряжения, поскольку в данном методе также отсутствуют элементы, помимо резистора, подверженные воздействию высокого напряжения.

Таблица 1. Сравнение методов построения петель гистерезиса

Метод	Измеряемая величина	Эталонный компонент	Необходимость интегрирования	Требование к полосе пропускания частот	Влияние паразитных элементов	Возможность высоковольтных измерений

Сойера-Гауэра	Заряд Q	Конденсатор	Нет	Умеренное	Высокое	Нет
Шунта	Ток I	Резистор	Да	Высокое	Высокое	Да
Виртуальной земли	Ток I	Нет	Да	Высокое	Низкое	Да

Список литературы

1. *Waser R., Böttger U., Tiedke St.* Electrical characterization of ferroelectrics// John Wiley & Son. 2006. P.53-74.
2. *Pecherskaya E.A., Golubkov P.E., Fimin A.V., Intelligent System for Active Dielectrics Parameters Research/ Zinchenko T.O., Pechersky A.V., Shepeleva J.V.*// Procedia Computer Science. 2018. V.132. P.1163 1170.
3. *Дуркин В., Тырыкин С., Степанов М.* Схемотехника аналоговых электронных устройств. Базовые схемы основных функциональных устройств// Litres. 2018. 126 с.
4. *Chelli Z., Toufouti R., Omeiri A.* Hysteresis control for shunt active power filter under unbalanced three-phase load conditions/ Chelli Z., Toufouti R., Omeiri A., Saad S.// Journal of Electrical and Computer Engineering. 2015. V.2015. No. 15 - 9 p.
5. *Mahrof D.H., Klumperink E.A.M., Ru Zhiyu* Cancellation of OpAmp Virtual Ground Imperfections by a Negative Conductance Applied to Improve RF Receiver Linearity/ Mahrof D.H., Klumperink E.A.M., Ru Zhiyu, Oude Alink M.S., Nauta B.// IEEE Journal of Solid-State Circuits. 2014. V.49 I.5 P. 1112 – 1124.
6. *Jiang J., Guo L., Yang K.* Information Entropy- and Average-Based High-Resolution Digital Storage Oscilloscope/ Jiang J., Guo L., Yang K., Pan H.// Mathematical Problems in Engineering. 2014. V.2014. - 12 p.
7. *Иванова Е.С., Румянцев И.Д., Петржик Е.А.* Изменение диэлектрических свойств триглицинсульфата в постоянном магнитном поле// Физика твердого тела. 2015. Т.58. №1. С. 125 – 130.