

АНАЛІЗ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЕРШОГО ПОРЯДКУ ПЕРЕ- МИКАННЯ ПОЛЯРИЗОВАНОСТІ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧНОГО КОНДЕНСАТОРА

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано фізичну модель першого порядку перемикавання поляризованості сегнетоелектричного конденсатора. В фізичній моделі першого порядку максимум густини струму при сходинковій напруженості спостерігається на початковому етапі, що має місце лише у окремих сегнетоелектриках зі специфічними механізмами поляризації. У більшості сегнетоелектриків зі структурою перовскіта максимум поляризаційного струму запізнюється в часі.

Ключові слова: сегнетоелектрик, фізична модель, сегнетоелектричний конденсатор, поляризованість, перемикавання поляризованості, густина струму.

Abstract

The physical model of the first order of switching of polarization of the ferroelectric capacitor is analyzed. In the first-order physical model, the maximum current density at step voltage is observed at the initial stage, which occurs only in individual ferroelectrics with specific polarization mechanisms. In most ferroelectrics with a perovskite structure, the maximum polarization current is delayed in time.

Keywords: ferroelectric, physical model, ferroelectric capacitor, polarization, polarization switching, current density.

В моделі першого порядку постулюється, що швидкість зміни поляризованості в часі пропорційна добутку непереполаризованій частині одиничного об'єму і швидкості його розширення. Однією з перших таких моделей є модель [1]:

$$\frac{dP}{dt} = \nu(P_s - P)e^{-\alpha/E(t)}, \quad (1.1)$$

де P – поляризованість, P_s – спонтанна поляризованість, $E(t)$ – напруженість поля, α (поле активації) і ν (величина обернена до питомої діелектричної в'язкості) – параметри сегнетоматеріалу. Якщо початкове значення поляризованості P_0 ($-P_s < P_0 < 0$), то розв'язання рівняння (1.1) дається виразом

$$P = P_s - (P_s - P_0) \exp\left(-\nu \int_0^t e^{-\alpha/E(t)} dt\right), \quad (1.2)$$

з якого випливає, що при $t=0$, $P=P_0$, але при $t \rightarrow \infty$ поляризованість набуває насиченого значення $P=P_s$ лише за умов, що інтеграл в (1.2) також набуває нескінчених значень, що має місце не при будь якій напруженості поля $E(t)$. Тому, далі, аналізується вираз (1.2) для деяких напруженостей $E(t)$ і з'ясовуються умови необхідні для реорієнтації поляризованості.

Сходинкове зростання напруженості

Для сходинкової напруженості $E(t)=E_1(t)$, де $E=\text{const}$, а $l(t)$ – одинична сходинкова функція, співвідношення (1.2) набуває вигляду

$$P = P_s - (P_s - P_0) \exp(-\nu t e^{-\alpha/E}), \quad (1.3)$$

або, за початкової умови $P_0 = -P_s$,

$$\bar{P} = \frac{P}{P_s} = 1 - 2 \exp(-vt e^{-\alpha/E}), \quad (1.4)$$

де \bar{P} – нормована поляризованість.

На рис. 1.1 зображені сімейства нормованих перемикальних (рис. 1.1а) і поляризаційних (рис. 1.1б) характеристик, побудованих за виразом (1.4), на яких $\bar{t} = vt$, $\bar{E} = E/\alpha$, $\bar{P} = P/P_s$ – нормовані величини.

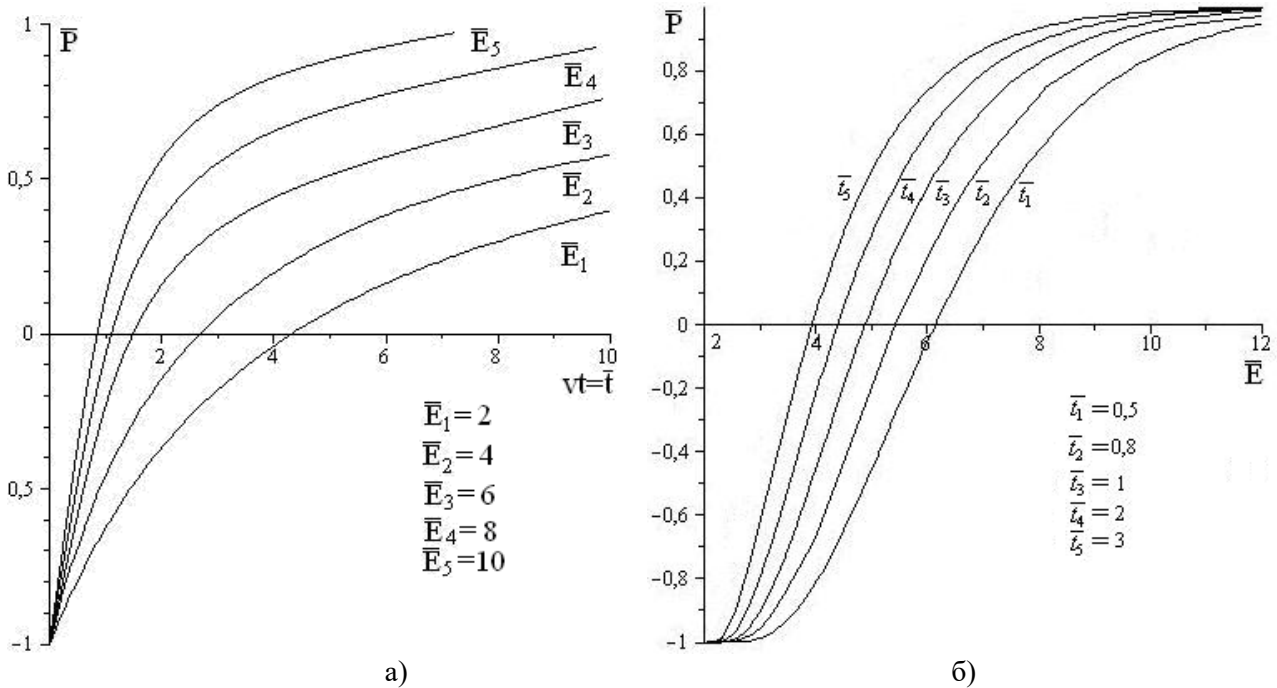


Рисунок 1.1 – Нормовані характеристики при сходінковій напруженості за фізичною моделлю 1-го порядку: а) – перемикальні, б) – поляризаційні

Перемикальним характеристикам рис. 1.1а відповідає максимальне значення густини поляризаційного струму $\delta(t) = dP/dt$ в початкову мить $t=0$. Таке явище має місце у сегнетоелектриків, у яких в процесі реорієнтації поляризованості домінує час, потрібний для утворення доменів і їх прямого росту вздовж поля [2]. Прикладом такого сегнетоелектрика може бути сульфат-гексагідрат ванадія-алюмінія (ВАСГ). Якщо в процесі реорієнтації поляризованості домінує бічне розростання доменів, то початкове значення густини струму поляризації дорівнює нулю, а його максимум спостерігається пізніше. Прикладом такого сегнетоелектрика є титанат барію. Проте, запізнення максимуму густини струму в часі може обумовлюватись також повільним зростанням напруженості поля, що обґрунтовується в [3].

На поляризаційних характеристиках рис. 1.1б параметром є нормована тривалість поляризаційних імпульсів $\bar{t}_K = \alpha t_K$, де t_K – тривалість імпульсу. Загальний вигляд поляризаційних характеристик відповідає тим, які спостерігаються у більшості сегнетоелектриків. Відзначимо, що при обмеженій тривалості поляризаційних імпульсів поляризованість може не досягати насиченого значення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Физика сегнетоэлектриков: современный взгляд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011, 440 с.
2. Chen Z., Lim M., Joshi V. Advanced simulation tool for FeRAM design. Integrated Ferroelectrics, 2001, 40: 101-112.
3. Божко А.А. К вопросу о реполяризации сегнетоэлектриков / А. А. Божко, Я. В. Мартынюк // Радиотехнические устройства контроля и обработки информации / Сб. науч. тр. – Киев, УМК ВО, 1992, С. 118-122.

Барабан Інна Олександрівна — аспірант кафедри Телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: akakieva@gmail.com

Кичак Василь Мартинович — д.т.н., проф., завідувач кафедри Телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kychak@vntu.edu.ua

Барабан Марія Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, м. Вінниця, e-mail: baraban87@gmail.com

Baraban Inna O. — graduate student of the Telecommunication systems and Television Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: akakieva@gmail.com

Kychak Vasyl M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Telecommunication systems and Television Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kychak@vntu.edu.ua

Baraban Maria V. – PhD, associated professor of the Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: baraban87@gmail.com