

## 06 Электрические характеристики жидкокристаллической ячейки 5СВ с добавлением наночастиц феррита кобальта ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ )

© А.А. Тягунов<sup>1,2</sup>, Я.В. Барнаш<sup>1-3</sup>, Н.В. Каманина<sup>1-3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> НПО „Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова“, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ „Курчатовский институт“,

Гатчина, Ленинградская обл., Россия

E-mail: 2001.Alexander.24@mail.ru

Поступило в Редакцию 22 ноября 2024 г.

В окончательной редакции 30 января 2025 г.

Принято к публикации 3 февраля 2025 г.

Изучено влияние наночастиц  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  на характеристики жидкокристаллической ячейки на основе нематического состава 4-Циано-4'-пентилбифенил (5СВ) при воздействии синусоидального напряжения различной частоты и амплитуды. На частоте управляющего сигнала 500 кГц в электрической цепи возникает резонансный рост тока с последующим спадом. Это указывает на формирование последовательного колебательного контура. Добротность системы с наночастицами не зависит от амплитуды управляемого напряжения. Жидкокристаллические ячейки с постоянной добротностью могут найти применение в ряде устройств и технологий, где требуются стабильные электрические характеристики.

**Ключевые слова:** нематическая жидкокристаллическая ячейка, наночастицы  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ .

DOI: 10.61011/PJTF.2025.10.60329.20195

Для улучшения функциональных свойств жидкокристаллических (ЖК) материалов активно изучаются гибридные системы, где в структуру вводятся наночастицы с особыми физико-химическими характеристиками, способные влиять на параметры отклика ЖК-ячеек. Одним из таких перспективных типов добавок являются наночастицы, например, серебра и ферритов, таких как  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ . Введение наночастиц в ЖК-материалы оказывает значительное влияние на их диэлектрические и электрические свойства. Например, исследование [1] показало, что серебряные наночастицы в системе с 5СВ влияют на диэлектрические характеристики жидкокристаллической ячейки, что связано с изменением ее отклика при внешнем воздействии. В свою очередь добавление наночастиц может вызывать изменения в ориентации молекул жидкого кристалла и, как следствие, в их электрическом и оптическом поведении. Аналогичные исследования [2] показали, что наличие наночастиц в ЖК-системах может вызывать резонансные эффекты за счет влияния на частотные характеристики и проводимость материала.

Введение в нематический ЖК наночастиц феррита кобальта ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) также приводит к значимым эффектам. Этот материал обладает рядом ценных свойств, включая высокий уровень магнитной анизотропии, механическую и химическую устойчивость, а также выраженные электрические характеристики. Введение наночастиц  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  в ЖК-систему 5СВ потенциально позволяет существенно изменить ее электрические и оптические свойства, что открывает возможности для создания более чувствительных сенсоров и стабильных дисплеев с улучшенными характеристиками [3]. Кроме

того, присутствие ферритных наночастиц может вызывать эффект локальных электрических и магнитных полей, которые способны влиять на ориентацию и динамику молекул жидкого кристалла, модифицируя как электрический, так и оптический отклики ячейки.

Целью данного исследования является анализ электрического отклика ЖК-ячейки на основе нематического состава 4-Циано-4'-пентилбифенил (5СВ) с введенными наночастицами  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  при воздействии синусоидального напряжения различной амплитуды и частоты. Особое внимание уделено выявлению резонансных эффектов, изменению токовых характеристик системы и установлению зависимостей, которые могут служить основой для разработки новых типов устройств с управляемыми частотными характеристиками.

Для проведения исследований были изготовлены две ЖК-ячейки на основе 5СВ. Структура изготовленных ячеек представлена на рис. 1.

Толщина ЖК-слоя составляет  $10\ \mu\text{m}$ . Слои ИТО выведены на внешние грани ячейки, где к ним подключаются контакты генератора управляющего напряжения. Также слои ИТО выполняют роль ориентанта, обеспечивающего S-деформацию в случае приложения электрического поля. В одну из изготовленных ячеек с помощью капиллярного эффекта был введен 0.1 wt.% раствор  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ .

В ходе эксперимента на обе ячейки с помощью генератора переменного напряжения Tektronix AFG 3021 В подавали синусоидальное напряжение различной амплитуды (1, 5 и 10 В), а изменения амплитуды силы тока фиксировали цифровым мультиметром Fluke 8846A, измеряя добротность на основе резонансных характеристик. На рис. 2 представлена полученная зависимость.

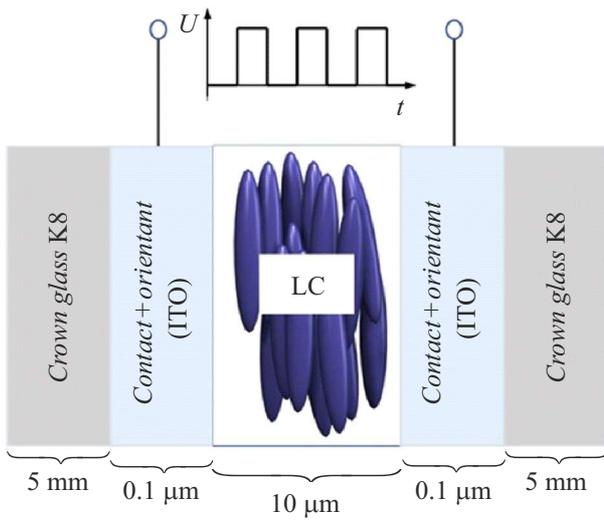


Рис. 1. Структура ЖК-ячейки.

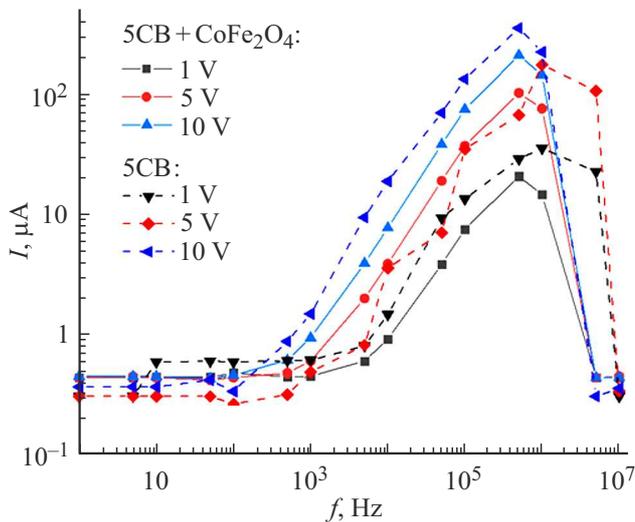


Рис. 2. Зависимость амплитуды силы тока от частоты при различных амплитудах прикладываемого синусоидального напряжения.

Для более детального отображения изменений были рассчитаны добротности систем. Рассчитанные значения добротности для чистой ЖК-ячейки и ячейки с добавлением магнитных наночастиц для различных амплитуд управляющего напряжения приведены в таблице. Расчет добротности  $Q$  производился по графику с помощью формулы

$$Q = \frac{f_{res}}{\Delta f},$$

где  $f_{res}$  — резонансная частота [Hz],  $\Delta f$  — ширина частотной зависимости на уровне амплитуды силы тока в  $\sqrt{2}$  раз меньше резонансной [Hz].

На основе анализа зависимостей тока от частоты при различных амплитудах синусоидального напряжения можно сделать следующие выводы.

Рассчитанные добротности систем при различных значениях амплитуды управляющего напряжения

Система	Амплитуда управляющего напряжения, V		
	1	5	10
5СВ	0.245	0.390	1.17
5СВ+CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0.58	0.59	0.56

1. Резонанс возникает как для чистого 5СВ, так и для его сенсibilизированной версии, при этом резонансная частота системы, измеренная при воздействии синусоидального напряжения, остается неизменной и составляет 500 kHz, как в случае с чистой ЖК-ячейкой, так и с добавлением наночастиц CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Хотя ферритные наночастицы обладают магнитными свойствами, их концентрация и воздействие на молекулы 5СВ ограничены в пределах локальных областей. Наночастицы не создают значительного влияния на макроскопическую индуктивность системы, которая могла бы сдвинуть резонансную частоту.

2. В чистой ячейке 5СВ добротность варьировалась в зависимости от управляющего напряжения, увеличиваясь с его ростом, так как в ней отсутствуют наночастицы, которые могли бы создавать локальные поля и дополнительные магнитные потери. Наночастицы феррита кобальта, вводимые в ячейку, создают локальные поля и могут взаимодействовать с молекулами жидкого кристалла, ограничивая их ориентацию в одном направлении. Это приводит к дополнительным потерям и снижению добротности, особенно на высоких напряжениях, когда внешнее электрическое поле начинает вступать в конкуренцию с локальными полями наночастиц.

3. Добротность системы с наночастицами не зависит от амплитуды управляющего напряжения. Наночастицы CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> могут частично экранировать внешнее электрическое поле, создавая локальные области с высоким полем вокруг себя. Эти локальные поля стабилизируют молекулы ЖК и делают систему менее восприимчивой к изменениям внешнего напряжения. Таким образом, независимо от увеличения управляющего напряжения (в исследуемом диапазоне) электрический отклик ячейки с наночастицами остается на одном уровне, поддерживая постоянную добротность.

Жидкокристаллические ячейки с постоянной добротностью, в том числе с добавлением наночастиц феррита кобальта, могут найти применение в ряде устройств и технологий, где стабильные электрические характеристики являются критически важными. Например, в радиочастотных устройствах, таких как фильтры, стабилизаторы частоты и модуляторы, использование ячеек с постоянной добротностью может обеспечить устойчивую работу на разных уровнях мощности сигнала. Это особенно важно в телекоммуникациях, где частотные характеристики должны оставаться стабильными независимо от изменения мощности входного сигнала.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Список литературы

- [1] G. Hadjichristov, Y. Marinov, A. Petrov, L. Marino, N. Scaramuzza, *J. Phys.: Conf. Ser.*, **682** (1), 012015 (2016). DOI: 10.1088/1742-6596/682/1/012015
- [2] V. Gdovinová, M.A. Schroer, N. Tomašovičová, I. Appel, S. Behrens, J. Majorošová, J. Kováč, D. Svergun, P. Korčanský, *Soft Matter*, **13**, 7890 (2017). DOI: 10.1039/C7SM01234A
- [3] Н.В. Каманина, А.С. Тойкка, Я.В. Барнаш, Д.Н. Редька, С.В. Лихоманова, Ю.А. Зубцова, П.В. Кужаков, Z. Jovanović, S. Jovanović, *Жидкие кристаллы и их практическое использование*, **22** (4), 83 (2022). DOI: 10.18083/LCAppl.2022.4.83