

03;06;12

Диодный генератор низкочастотных колебаний на основе жидкого кристалла

© Я. Бартонь, А.А. Кальнин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет,
197376 Санкт-Петербург, Россия

(Поступило в Редакцию 29 декабря 1995 г.)

Исследован эффект возбуждения ритмических токовых осцилляций в диодной ячейке с нематическим жидким кристаллом (НЖК). Внешнее электрическое поле в межэлектродном пространстве направлено параллельно поверхностям, ориентирующим молекулы НЖК. Токовые осцилляции сопровождаются образованием у катода автосолитона, его распространением и исчезновением у анода. Предложена гипотетическая модель, объясняющая токовую неустойчивость.

Данное исследование связано с изучением динамического эффекта в нематических жидких кристаллах (НЖК), сопровождаемого токовой неустойчивостью. Как известно, в нематиках в неравновесных условиях проявляются различные виды неустойчивостей [1]. Классическим примером является образование доменов Капустина–Вильямса в поперечном по отношению к ориентирующим молекулы НЖК поверхностям внешнем электрическом поле [2]. Этот эффект есть проявление самоорганизации в открытых системах [3] и характеризуется пороговым значением напряженности внешнего электрического поля и возникновением пространственной упорядоченности на макроуровне. Нелинейность, обусловленная анизотропией свойств НЖК, создает предпосылки для действия автокаталитического механизма (внутренней положительной обратной связи), способствующего возникновению неустойчивостей [4]. Исследования НЖК главным образом производились в поперечном поле, и сравнительно мало работ посвящено изучению реакций НЖК на действие продольного поля, т. е. действующего в направлении, параллельном ориентирующим молекулы поверхностям.

В данной работе проведено изучение токовых неустойчивостей в планарной диодной структуре и была сделана попытка создания простого экономичного генератора токовых колебаний в биоритмическом диапазоне частот. Для этого необходимо было найти условия побуждения токовой неустойчивости в НЖК среде. Многими пробными экспериментами, в которых варьировались ориентация молекул НЖК относительно направления действия внешнего электрического поля; размеры, форма и взаимное расположение электродов в ЖК среде; микрозазор между поверхностями, задающими ориентацию молекул, удалось найти условия, создающие токовую неустойчивость.

Конструкция диодной ячейки планарного типа приведена на рис. 1. В зазоре между двумя стеклянными или кварцевыми пластинками 1 размещались два металлических электрода 2, пространство между которыми заполнялось нематическим жидким кристаллом МББА или смесью МББА и ЭББА. Зазор между пластинками

составлял 50–100 мкм, а между электродами 0.1–1.0 мм. Ширина электродов 0.1–0.5 мм. Поверхности диэлектрических пластин, смачиваемые НЖК, предварительно обрабатывались с целью создания микротекстуры для управления ориентацией молекул НЖК. Предварительно поверхности тщательно очищались от возможных загрязнений в одномолярном растворе KOH, затем в 50% (mol) растворе HNO₃ и промывались в дистиллированной воде.

Электроды диодной ячейки подключались к источнику питающего напряжения через последовательно включенное сопротивление $R_s = 1.2 \text{ M}\Omega$ для обеспечения возможности осциллографического наблюдения токовых неустойчивостей.

Результаты экспериментальных наблюдений сводятся к следующему.

1. При повышении межэлектродного напряжения образуется доменная структура, однако менее четко выраженная, чем в случае поля, перпендикулярного плоскостям диэлектрических пластин.

2. При дальнейшем увеличении напряжения до некоторого критического значения U_c в определенных местах на поверхности катода образовывалась область с сильным рассеянием света. Эта область отрывалась от катода и в виде бегущей волны (автосолитона) двигалась к аноду и на его поверхности исчезала. Зарождение автосолитона,

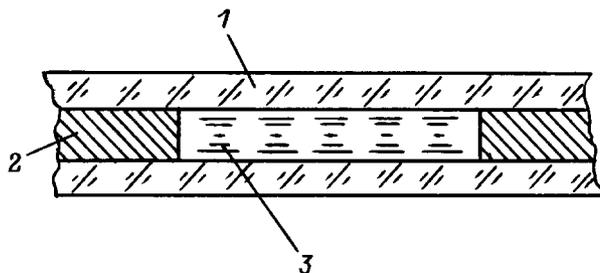


Рис. 1. Конструкция диодного генератора электрических колебаний на основе нематического жидкого кристалла (НЖК). 1 — диэлектрические пластины с поверхностной геометрической анизотропией, 2 — металлические электроды, 3 — НЖК.

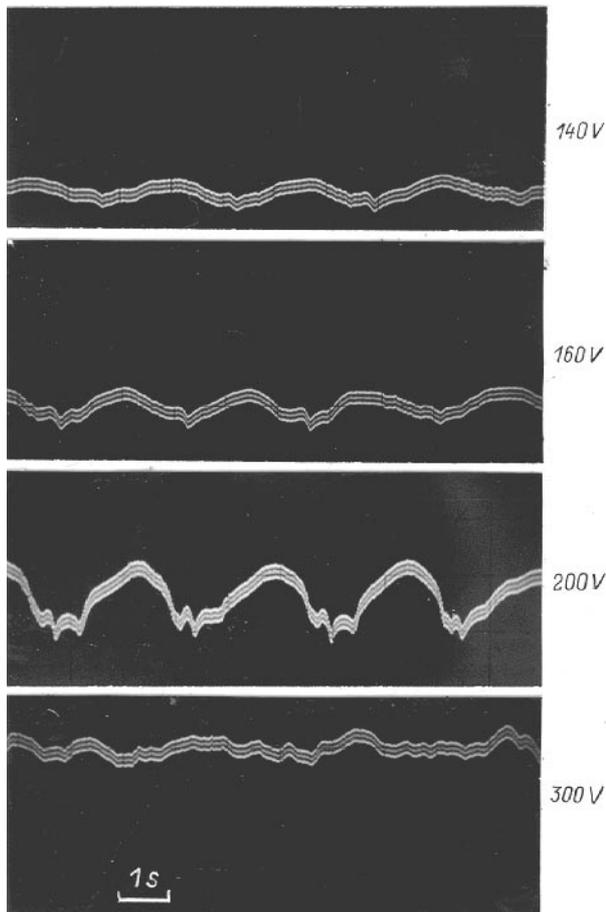


Рис. 2. Осциллограммы тока, полученные при различных напряжениях на электродах диодной ячейки. Значения напряжений отмечены у соответствующих осциллограмм; МББА, $l = 1 \text{ mm}$, $d = 100 \mu\text{m}$.

его продвижение и исчезновение было периодическим. Как только область аномального рассеяния света исчезала на поверхности анода, она вновь появлялась на катоде.

3. В согласии с движением автосолитона возникали колебания тока с большим различием его экстремальных значений. В типичном случае значение тока в максимуме составляло $3\text{--}5 \mu\text{A}$, а в минимуме $0.2\text{--}0.5 \mu\text{A}$. До возникновения осцилляций значение постоянного тока находилось на уровне десятков наноампер (предпороговый режим). Значение порогового внешнего поля находилось на уровне $E_c = 1\text{--}2 \cdot 10^3 \text{ V/cm}$ (межэлектродное расстояние $l = 1 \text{ mm}$).

Осциллограммы, демонстрирующие колебания тока, приведены на рис. 2, где видно, что амплитуда колебаний и частота зависят от напряжения. Эти зависимости представлены на рис. 3.

Наблюдения с использованием оптического микроскопа показали, что при старте автосолитона ток максимален, а при достижении анода он минимален. При дальнейшем увеличении внешнего напряжения колебания

тока становятся стохастическими на уровне высокого его среднего значения.

4. Колебания возникают только в случае малых зазоров h между пластинами ($h \leq 150 \mu\text{m}$). При этом оказывает сильное влияние ориентация директора НЖК. Исследования показали, что в образцах с параллельной и перпендикулярной внешнему полю ориентацией директора колебания тока не возникли. Также эксперименты с гомеотропной ориентацией молекул НЖК не дали положительного результата. Режим бегущих автосолитонов наблюдался только в закрученном нематике (и особенно ярко был выражен при угле взаиморазворота пластин, близком к 180°). Таким образом, для возникновения колебаний необходимо нарушение однородной ориентации молекул НЖК.

5. В опытах наблюдались случаи, когда автосолитоны распространялись не по кратчайшему пути от катода к аноду, а по криволинейной "траектории" или зарождались не на катоде, а в межэлектродном пространстве. Наблюдались также случаи пульсации скорости распространения автосолитона, сопровождаемые сложной (многомодальной) осцилляцией тока.

Гипотетическая модель, объясняющая эффект токовых осцилляций в планарной диодной структуре, состоит в следующем. Известно, что электропроводность НЖК носит ионный примесный характер на фоне незначительной электронной составляющей. Имеет место процесс окисления иона на аноде и нейтрализация (восстановление) на катоде [5]. Процесс может происходить обратимо без разложения НЖК. В закрученном нематике поле концентрируется в средней части зазора между пластинами.

Условием возникновения автосолитона является анизотропия электропроводности НЖК (для МББА $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp} = 1.3$). Молекулы, ориентированные директором перпендикулярно полю, сдерживают движение ионов и являются своеобразным затвором. При накоплении большого числа ионов у катода возрастает напор ионов, в результате чего молекулы НЖК поворачиваются параллельно направлению действия поля и "затвор"

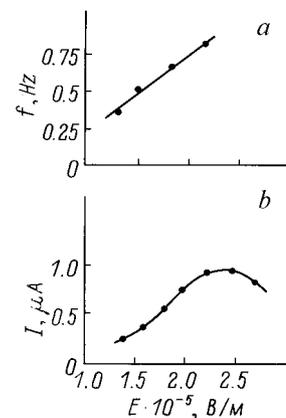


Рис. 3. Зависимости амплитуды (а) и частоты (б) токовых осцилляций от осредненной напряженности электрического поля в межэлектродном пространстве.

открывается, пропуская скопление ионов (проводимость увеличивается с σ_{\perp} до σ_{\parallel}). Формирование фронтов автосолитона обусловлено градиентом подвижности ионов. После прохождения скопления ионов восстанавливается стартовая ориентация молекул НЖК.

Список литературы

- [1] Сонин А.С. Введение в физику жидких кристаллов. М.: Наука, 1983. 320 с.
- [2] Вистинь Л.К., Кабаенков А.Ю., Яковенко С.С. // Кристаллография, 1986. Т. 31. № 2. С. 360–365.
- [3] Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979. 512 с.
- [4] Боровик А.Е., Попков В.Ю., Робук В.Н. // ДАН СССР. 1989. Т. 305. № 4. С. 841.
- [5] Адамчук А., Стругальский З. // Жидкие кристаллы. М.: Сов. радио, 1979. 215 с.