

## ОБ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИИ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ С СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЖИДКИМ КРИСТАЛЛОМ

Я.Ч.БАГИРОВ, А.А.АББАСЗАДЕ

*Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство*

А.Р.ИМАМАЛИЕВ

*Бакинский Государственный Университет*

İşdə seqnetoelektrik maye kristal (SMK) displeyin güc sərfinin müqayisəli təhlili verilir. Momentlər balansı tənliyinin həlli əsasında spontan polarizasiyanın müxtəlif qiymətlərində SMK- displeyin güc sərfinin gərginlikdən asılılığı çıxarılmışdır.

В данной работе дан сравнительный анализ энергопотребления дисплея на основе сегнетоэлектрического жидкого кристалла (СЖК-дисплей). На основе решения уравнения баланса моментов приведен зависимость мощности, потребляемой единичной площади СЖК-дисплея от напряжения при разных значениях спонтанной поляризации.

In this paper the comparative analyse of power consumption of ferroelectric liquid crystal (FLC) display has been carried out. On the basis of solving of balance torque equation the voltage dependence of power consumption per unite area of FLC-display for various values of spontaneous polarization.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из требований, предъявляемых к жидким кристаллам (ЖК) при использовании их в портативных телевизорах и ноутбуках – это низкая потребляемая мощность [1]. Чем меньше потребляемая мощность, тем дольше эти устройства могут работать в отсутствие стандартной сети, т.е. при помощи аккумулятора. Современные ЖК-дисплеи работают, в основном, на твист-эффекте [2] или супертвист-эффекте [3]. Каждый пиксел дисплея является жидкокристаллическая ячейка. В пространство между двумя близко расположенными стеклянными пластинками, на которые нанесены прозрачные металлические электроды и ориентант для получения планарной ориентации вводят нематический ЖК с большой положительной диэлектрической анизотропией  $\Delta\varepsilon \geq +10$ . При переходе от одной подложки к другой директор постепенно поворачивается на  $90^\circ$  (при твист-эффекте) или  $270^\circ$  (при супертвист-эффекте). Если система находится между двумя параллельными или скрещенными поляризаторами, то при приложении напряжения порядка несколько вольт получается электрооптический эффект с большим контрастом (50:1) и большой крутизной вольт-контрастной характеристики. Хотя скорость эффекта не очень высокая  $t \geq 10 \text{ мс}$ , крутая вольт-контрастная характеристика позволяет создать ЖК-дисплей с высокой разрешающей способностью путем мультиплексирования [3].

Известно что, в хиральных смектических жидких кристаллах возможно сегнетоэлектричество [4]. Благодаря спонтанной поляризации сегнетоэлектрические жидкие кристаллы (СЖК) взаимодействуют с электрическим полем гораздо сильнее, чем нематические ЖК. Поэтому по сравнению с нематическими ЖК, электрооптический эффект в СЖК происходит с большой скоростью и низким пороговым напряжением. В Кларк и Лагерволл обнаружили, что в тонком планарном образце ( $d \leq 2 \text{ мкм}$ ) СЖК электрооптический эффект происходит очень быстро  $t \leq 1 \text{ мкс}$  и с памятью [5]. Это позволяет сильно упрощать схему управления СЖК-дисплея. Но высокая скорость переключения одновременно приводит

к увеличению потребляемой мощности. В данной работе дан сравнительный анализ энергопотребления СЖК-дисплея и поиск путей его минимизации.

### 2. МОЩНОСТЬ, ПОТРЕБЛЯЕМАЯ НЕМАТИЧЕСКИМИ И СМЕКТИЧЕСКИМИ А ЖК-ЯЧЕЙКАМИ

Поскольку в нематических и смектических А жидких кристаллах электрооптический эффект обусловлен квадратичным взаимодействием ЖК с электрическим полем, то энергия, потребляемая в ячейке с площадью  $S$  и толщиной  $d$  при электрооптическом эффекте равна

$$\Delta W = -\frac{1}{2} \Delta\varepsilon \varepsilon_0 E^2 S d = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 \frac{U^2}{d} S \quad (1)$$

где  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}$  – электрическая постоянная,  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{//} - \varepsilon_{\perp}$  – анизотропия диэлектрической проницаемости,  $U$  – напряжение, подаваемое на ячейку.

Если электрооптический эффект происходит за время  $t_n \approx 10^{-2} \text{ с}$ , то нетрудно оценить потребляемую мощность единичной площади дисплея

$$\begin{aligned} \frac{P}{S} &= \frac{\Delta W}{t_n S} \approx \\ &\approx \frac{1}{2} \Delta\varepsilon \varepsilon_0 \frac{U^2}{d \cdot t_n} \approx \\ &\approx \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5^2}{10^{-5} \cdot 10^{-2}} \approx 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 1 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2} \end{aligned}$$

Несмотря на то, что электрооптические эффекты в смектиках А (например, гомеорпно-планарный переход) имеет высокое пороговое напряжение и большое время перехода, эти эффекты также представляют интерес по двум причинам: 1) наличие памяти; 2) большая крутизна вольт-контрастной характеристики [6]. Гомеорпно-планарный переход в смектиках А также основано

взаимодействия электрического поля с анизотропией диэлектрической проницаемости и мощность, потребляемая дисплеем на основе смектиках А, получается довольно высокой:

$$\frac{P}{S} \approx \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{100^2}{10^{-5} \cdot 0,1} = 50 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2}$$

**3.МОЩНОСТЬ, ПОТРЕБЛЯЕМАЯ СЖК-ЯЧЕЙКОЙ**

Нетрудно показать, что независимо от деталей переключения СЖК, мощность, потребляемая на единичную площадь, определяется величиной

$$\frac{P}{S} = \frac{2P_S U}{t_c} \tag{2}$$

На самом деле, если напряжение, подаваемое на электрооптическую ячейку постоянно, то потребляемая мощность равна

$$P = \frac{\int_0^{\tau_n} U Idt}{\tau_n} = \frac{U \int_0^{\tau_n} Idt}{\tau_n} = \frac{U \Delta q}{\tau_n} = \frac{U \cdot 2P_S S}{\tau_n}$$

Здесь учтено, что изменение заряда во время переключения равно  $2P_S S$ .

Оценки показывают, что из-за малости значения  $\tau_n$  мощность, потребляемая СЖК-ячейкой существенно больше, чем у нематической, даже смектической А ЖК-ячейки:

$$\frac{P}{S} = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot 5}{10^{-4}} = 1 \frac{\text{мВт}}{\text{см}^2}$$

Формула (2) показывает, что вся зависимость потребляемой мощности от приложенного напряжения содержится внутри зависимости

Время переключения, кроме напряжения, зависит от материальных параметров СЖК – спонтанной поляризации, компонент диэлектрической проницаемости, вращательной вязкости, угла наклона, упругих постоянных и условий на поверхности ячейки, т.е. энергии сцепления. Все это полностью учитывается уравнением баланса моментов и решая его численно, можно найти зависимость времени переключения от указанных параметров [7]. Подставляя полученное решение – в уравнение (2), можно получить зависимость потребляемой мощности от этих параметров. Для примера приведем результаты численных расчетов в виде зависимости – от приложенного к ячейке напряжения при различных

значениях спонтанной поляризации (Рис.1). Прослеживаются следующие закономерности: 1) при значениях спонтанной поляризации мощность, употребляемая единичной площадью СЖК-ячейки резко растет с ростом напряжения; 2) при малых значениях спонтанной поляризации наблюдается слабо выраженный максимум.

Быстрое увеличение мощности с увеличением напряжения при больших значениях спонтанной поляризации объясняется уменьшением времени переключения, т.к. известно, что  $t_n \approx \frac{\gamma}{P_S E} = \frac{\gamma d}{P_S U}$ , где  $\gamma$  – вращательная вязкость СЖК.

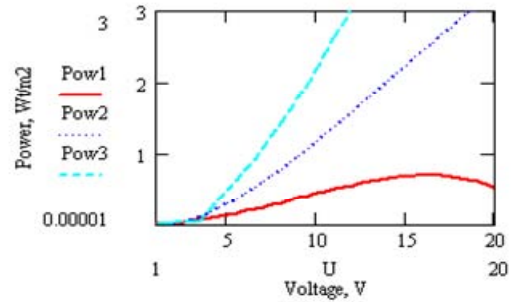


Рис.1. Зависимость мощности, потребляемая единичной площадью СЖК-ячейки от приложенного напряжения при различных значениях спонтанной поляризации: сплошная линия -  $P_S = 4 \frac{\text{нКл}}{\text{см}^2}$ ;

точечная линия -  $P_S = 8 \frac{\text{нКл}}{\text{см}^2}$ ; пунктирная линия  $P_S = 12 \frac{\text{нКл}}{\text{см}^2}$ .

Максимум в зависимости мощности от напряжения объясняется существованием минимума в зависимости времени переключения от напряжения из-за увеличения роли квадратичного взаимодействия СЖК с электрическим полем, действующий как стабилизирующий фактор при переключении [7].

Графики показывают, что для уменьшения энергопотребления СЖК-ячейки, если не требуются большие скорости переключения, целесообразно работать в режиме низких напряжений, т.е. в окрестности нескольких вольт.

[1]. V.G. Chigrinov – Liquid Crystal Devices – Springer Verlag, 1999, 426p  
 [2]. M., Shadt W Helfrich.- Voltage dependent optical activity of twisted nematic liquid crystal – Appl.Phys. Let.,1971, v.18,p.127  
 [3]. J., Nering T.Sheffer – A new highly multiplexable liquid crystal display - Appl.Phys. Let.,1984, v.45,p.1021  
 [4]. R.B Meyer. – Ferroelectric liquid crystals: a review – Mol. Cryst. Liq. Cryst.,1977, v.40, p.74  
 [5]. N.A Clark., M.A., Lagerwall S.T. - Submicrosecond bistable electrooptic switching in liquid crystals,

Appl.Phys.Letters, 1980, v.36, p.899  
 [6]. В.Н., Чирков Д.Ф., Алиев А.Х.Зейналлы – Электрически обратимый эффект памяти в смектических жидких кристаллах – Письма в ЖЭТФ, 1977, вып.19, 1016  
 [7]. Л.М Блинов., Л.А.- Береснев Сегнетоэлектрические жидкие кристаллы, УФН, 1984, т.139, с.  
 [8]. А.А.Абасзаде, А. Р., Имамалиев Ч.Багиров , - Моделирование временной характеристики на основе сегнетоэлектрического жидкого кристалла, АМАКА-nın Xəbərләri, 2006