

УДК532.783

О.З. Готра, Б.І. Стадник, Б.М. Яворський*
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційно-вимірювальної техніки
*Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних приладів

АНАЛОГОВИЙ РІДКОКРИСТАЛІЧНИЙ ІНДИКАТОР ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГИ

© Готра О.З., Стадник Б.І., Яворський Б.М., 2001

Наведено результати розробки аналогових рідкокристалічних індикаторів та експериментальних досліджень.

The results of elaboration of analog liquid crystal displays and experimental investigations are given.

Серед багатьох сфер застосування рідкокристалічної індикації особливе місце займає створення аналогових функціональних пристроїв, які реалізують перетворення деякої електричної величини в аналогове переміщення оптичного показника. Такі пристрої функціонально відповідають відомим приладам зі стрілкою, але мають ряд принципових переваг, пов'язаних з відсутністю рухомих частин, потенційно високою технологічністю та ергономічними можливостями. Це робить аналогові пристрої перспективними для застосування в різних галузях техніки як простих вимірювачів у побутовій та спеціальній апаратурі.

Сьогодні відомо багато конструктивних рішень аналогових функціональних пристроїв на рідких кристалах. Найбільш типовим є аналоговий рідкокристалічний індикатор (АРКІ), запропонований Сорєфом [1], в якому шар рідкого кристала знаходиться між двома скляними пластинами, на внутрішні сторони яких нанесені прозорі електроди. На одній пластині – високоомний електрод, на другій – низькоомний. До кінців високоомного електрода, який має довжину L та ширину b , постійно підключено джерело опорної напруги, а напруга, яка вимірюється, підключена між низькоомним та одним із кінців високоомного електрода. Залежно від полярності підключення напруг на АРКІ спостерігається відлікова границя або відлікове “вікно”, які утворюються ділянками рідкого кристала, на яких виникає електрооптичний ефект та ділянкою, де він відсутній. Положення відлікової границі або “вікна” залежить від величини вимірюваної напруги.

Для нормальної роботи описаного АРКІ при вимірюванні змінної електричної напруги необхідно забезпечити жорстку синхронізацію за фазою та частотою опорної та вимірюваної напруги, що є досить складною задачею.

Нами було запропоновано АРКІ, який не потребує джерела опорної напруги [2]. Він складається з двох високоомних електродів, які з'єднані між собою по діагоналі, а вимірювана напруга під'єднується до протилежних кінців одного електрода. Відсутність низькоомного електрода значно спрощує технологію виготовлення АРКІ. Для покращання метрологічних характеристик АРКІ без джерела опорної напруги (підвищення точності відліку) запропоновано АРКІ, наведений на рис.1,а. За конструкцією він подібний до описаного, але має деякі відмінності.

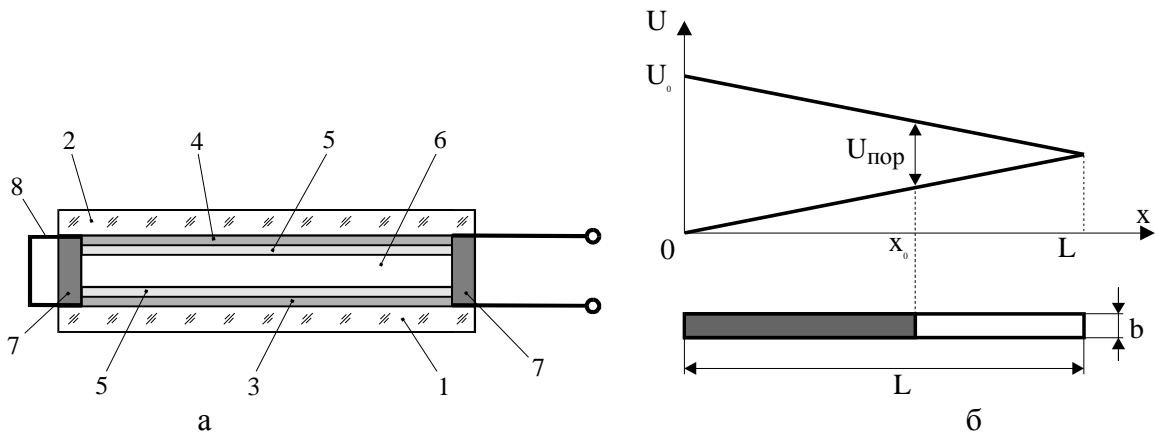


Рис.1. Аналоговий рідкокристалічний індикатор: а – конструкція та схема ввімкнення індикатора: 1,2 – скляні пластини; 3,4 – високоомні електроди; 5 – орієнтуючі покриття; 6 – рідкий кристал; 7 – ізолююча прокладка; 8 – провідник; б – розподіл потенціалів на електродах індикатора та візуальна картина на ньому

Він складається з двох абсолютно однакових високоомних електродів, які нанесені на внутрішні сторони скляних пластин. Одні протилежні кінці з'єднані між собою, а до інших підключено джерело вимірюваної напруги. При підключенні до виводів індикатора джерела вимірюваної напруги через його електроди буде протікати електричний струм, який створить на них спад напруги. Різниця потенціалів між електродами на одному кінці пристрою в точці з'єднання електродів ($x = L$) буде дорівнювати нулю і буде збільшуватися до максимального значення, яке дорівнює величині вимірюваної напруги на другому кінці ($x = 0$) (рис.1,б). В тій частині АРКІ, де різниця потенціалів між електродами буде дорівнювати пороговій напрузі $U_{пор}$ та більшою за неї, буде спостерігатися електрооптичний ефект. При збільшенні напруги границя електрооптичного ефекту (відлікова границя) буде пересуватися в сторону, де з'єднані електроди, при зменшенні - в протилежну сторону.

Однією з основних характеристик АРКІ є залежність його показів від прикладеної напруги. Розглянемо аналоговий індикатор, у якого електроди в прямокутних координатах (x, y) мають розмір $L \times b$ та питомий поверхневий опір R_{\square} . При прикладенні до електродів індикатора електричної напруги U_0 між електродами виникне різниця потенціалів U_x , яка буде змінюватися від максимальної ($x = 0$) до нуля ($x = L$) (рис.1,б):

$$U_x = U_0 \left(1 - \frac{x}{L}\right). \quad (1)$$

Границя електрооптичного ефекту виникне в точці x_0 , де $U_x = U_{пор}$, звідки:

$$x_0 = \left(1 - \frac{U_{пор}}{U_0}\right)L, \quad (2)$$

тобто залежність положення відлікової границі від прикладеної напруги $x_0 = f(U_0)$ має нелінійний характер. Вирази (1) та (2) справедливі лише в тому випадку, коли опір шару рідкого кристала набагато більший за опір електродів, тобто $R_{рк} \gg R_L$, де $R_L = R_{\square} \frac{L}{b}$.

Експериментальні дослідження також підтвердили нелінійність показів такого АРКІ. Для того, щоб домогтися лінійності показів запропонованого АРКІ, необхідно змінити розподіл

різниці потенціалів між електродами, що можна зробити за рахунок зміни форми електродів. Крім того, між короткозамкнутими електродами ($x = L$) необхідно ввімкнути додатковий опір для того, щоб границя електрооптичного ефекту могла пересуватися по всій довжині індикатора від $x = 0$ до $x = L$. В АРКІ з короткозамкнутими електродами відлікова границя x_0 досягає координати L при $U_0 = \infty$.

Мінімальна напруга, яку може індикувати АРКІ, $U_{min} = U_{пор}$. Для побудови описаного АРКІ необхідно спочатку вибрати верхню межу вимірюваної напруги U_{max} та визначити кратність максимальної напруги щодо до порогової напруги електрооптичного ефекту:

$$n = \frac{U_{max}}{U_{пор}}, \quad (3)$$

яку заокруглюють до меншого цілого значення n . Якщо розділити електрод АРКІ довжиною L на n рівних частин, то умова лінійності показів буде виконуватись тоді, коли різниця потенціалів між електродами буде мати вигляд:

$$U_k = U_0 \frac{1}{k+1}, \quad (4)$$

де U_k – різниця потенціалів в точці $x = k \frac{L}{n}$, а k змінюється від 0 до n .

Такий розподіл напруги, прикладеної до шару рідкого кристала, можна забезпечити, якщо залежність опору електродів від довжини буде:

$$R_k = R_0 \left(1 - \frac{1}{k+1}\right), \quad (5)$$

де R_k – опір електрода від початку ($x=0$) до точки з координатою $x = k \frac{L}{n}$; R_0 – опір високоомного електрода нескінченної довжини ($k \rightarrow \infty$). Додатковий опір R_0 доповнює опір високоомного електрода R_L до такого значення опору, який мав би високоомний електрод нескінченної довжини:

$$R_0 = R_L + R_\partial. \quad (6)$$

Значення додаткового опору R_∂ можна знайти, якщо підставити значення R_0 з (6) в (5) і прийняти $k=n$, звідки

$$R_\partial = \frac{R_L}{n}. \quad (7)$$

Оскільки АРКІ складається з двох однакових електродів, то додатковий опір, який необхідно під'єднати до кінців електродів ($x = L$), повинен бути вдвічі рази більшим за значення опору, отримане з (7), тобто $R_\partial' = 2R_\partial$.

Потім необхідно визначити форму високоомного електрода за характером розподілу його опору по довжині. Для цього виразимо зміну опору електрода в диференціальній формі:

$$dR = R_\square \frac{dk}{y}, \quad (8)$$

де y – ширина електрода, яка залежить від k .

Продиференціювавши (5) та підставивши його значення в (8), знайдемо ширину високоомного електрода:

$$y=R_{\square}(k+1)^2/R_0 \text{ або } y=R_{\square}(xn/L+1)^2/R_L(1+1/n). \quad (9)$$

З розрахунків АРКІ можна зробити висновок, що для отримання лінійної залежності показів від прикладеної напруги необхідно, щоб електроди індикатора мали квадратичну залежність його ширини y від довжини x .

Для експериментальних досліджень було виготовлено АРКІ, виходячи з таких даних: довжина індикатора $L=50$ мм, кратність $n=5$, початкова ширина електрода $y(0)=1$ мм.

Для практичної побудови АРКІ спочатку було виготовлено електроди індикатора, виходячи із залежності $y(k)=C(k+1)^2$. Після виготовлення електродів було виміряно опір R_L . В готовому АРКІ до широких кінців електродів були під'єднано резистор номіналом $R_d' = 2R_L/5$.

Частина індикаторів працювала на ефекті динамічного розсіювання світла (рідкий кристал ЖК-404И), а друга частина – на твіст-ефекті (ЖК-654). На рис.2 наведені типові результати вимірювань.

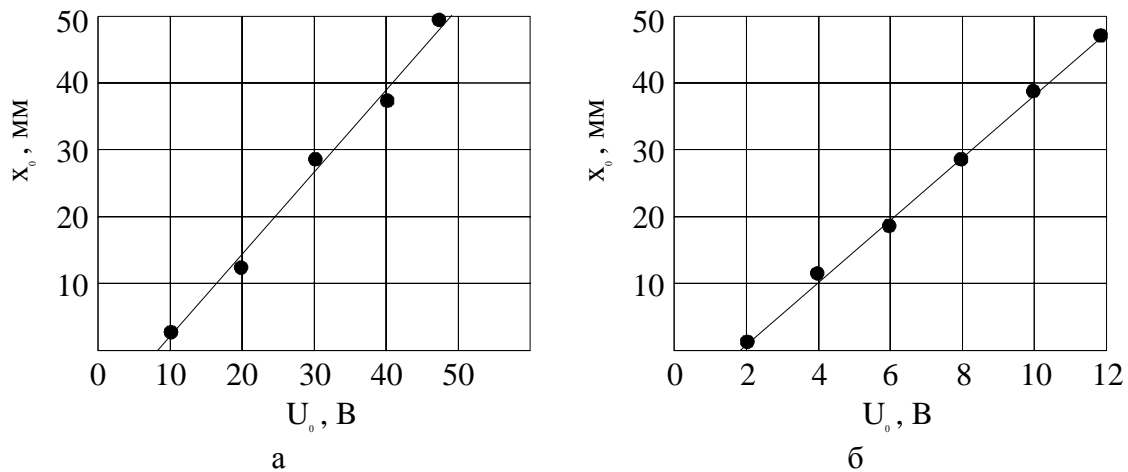


Рис. 2. Залежність показів АРКІ від прикладеної напруги:
а – ефект динамічного розсіювання світла, б – твіст-ефект

З наведених результатів вимірювання можна зробити висновок, що лінійність показів АРКІ зберігається незалежно від використаного електрооптичного ефекту. Величина порогової напруги $U_{пор}$ впливає тільки на діапазон робочих напруг АРКІ.

Для практичного використання розглянутого АРКІ можна рекомендувати використовувати електрооптичні ефекти в рідких кристалах з різкою вольт-контрастною характеристикою та невеликим значенням n .

1. Soref R.A. Electronically scanned analog liquid crystal displays // *Applied Optics*. – 1970. – V.9. P.1323-1329. 2. А. с. СССР №719292. Готра З., Пархоменко В., Яворский Б. Аналоговый жидкокристаллический индикатор // *Бюл. изобрет.* – 1980. №2. С.43.

УДК 621.317.7

В.О. Яцук