

УДК 681.327

**ЗАЛЕЖНІСТЬ ЯКОСТІ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ
ВІД ТОПОЛОГІЇ ЕЛЕМЕНТА ІНДИКАЦІЇ**

М.Г. КУЗЬОМКО, В.Б. ДРОМЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

Досліджено кореляцію між топологією елемента індикації та точністю відображення інформації, розроблено метод підвищення контрасту та надійності в електролюмінесцентних пристроях відображення інформації

У роботі [1] запропоновано метод модуляції яскравості пристроїв відображення інформації (ПВІ), сутність якого полягає у тому, що кожному розрядові k – розрядного двійкового коду, який несе інформацію про оптичний параметр (яскравість, оптичну щільність і т. і.) елемента індикації (ЕІ), ставиться у відповідність певний топологічний рисунок так, що старшому розрядові двійкового коду відповідає ділянка з площею у два рази більшою, ніж попередньому молодшому. Число ділянок в межах площі одного елемента зображення дорівнює числу розрядів цифрового двійкового коду. Комбінацією з таких k -ділянок можна з постійним кроком перекрити $N = 2^k$ рівнів оптичного параметра. Інтеграція світла від ділянок зі зміненими та незміненими оптичними властивостями, яка відбувається у зоровому органі людини, дозволяє сприймати сформоване зображення, як напівтонове.

Об'єкти та методи дослідження

Пристрої відображення інформації матричного типу та з застосуванням методів просторової модуляції яскравості, вірогідність безпомилкового зчитування інформації.

Постановка завдання

Якість сприйняття інформації значною мірою залежить від яскравісного контрасту відтворюваного зображення, що обґрунтовано у цій роботі на прикладі електролюмінесцентного індикатора (ЕЛІ) та показані шляхи підвищення вірогідності правильного сприйняття інформації.

При зростанні розрядності двійкового коду, поряд зі зростанням числа відтворюваних градацій сірої шкали, зростає і розмір елемента відображення. Якщо існують обмеження на максимальні розміри ПВІ, тоді зменшують число розрядів двійкового коду, зменшуючи кількість ділянок i , тим самим, втрачаючи якість відтворення зображення, або застосовують технологічний інструмент виготовлення ПВІ з вищою роздільною здатністю. Однак, підвищення роздільної здатності призводить до відносного зниження точності накреслення топологічного рисунку та, як наслідок, до збільшення похибки відтворення зображення.

З іншого боку, зі збільшенням розрядності перетворення, зростає складність апаратури та підвищуються вимоги до точності її функціонування. Вирішення цієї задачі можливе при визначенні критеріїв, які дозволяють узгодити між собою перераховані протиріччя.

Результати та їх обговорення

Одним з таких критеріїв є похибки, які виникають при аналого-цифровому перетворенні. Основний внесок вноситимуть похибки дискретизації, які обумовлені кінцевим числом рівнів квантування [2].

Так, якщо $N = 2^k$, де N – число дискретних рівнів, а k – число розрядів, тоді:

$$B_h = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{2^k}, \quad (1)$$

де B_h – крок квантування; B_{\max} та B_{\min} – відповідно, максимальне та мінімальне значення перетворюваної яскравості зображення.

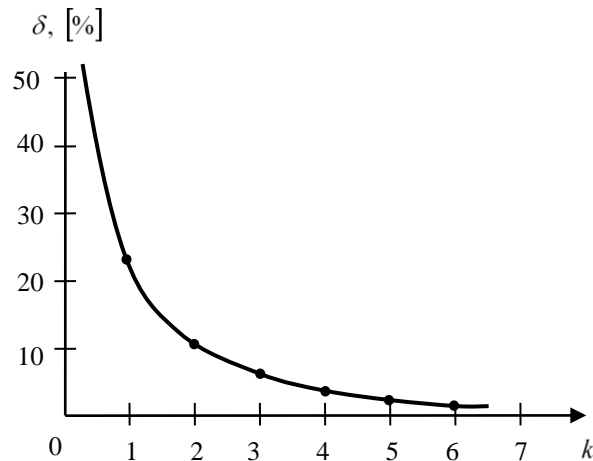


Рис. 1. Залежність величини похибки дискретності від розрядності перетворення

При квантуванні з рівномірним за рівнем кроком обраний спосіб, при якому відбувається округлення молодшого розряду. Якщо вимірювана величина B_x в будь-якій точці дорівнює $B_x = B_{i-1} + \delta$, де δ – різниця між B_x та B_{i-1} ; причому, якщо $\delta < 1/2 \cdot B_h$, тоді $B_x = B_{i-1}$, а якщо $\delta > 1/2 \cdot B_h$, тоді $B_x = B_i$.

Очевидно, що зі зростанням числа розрядів квантування k похибка зменшуватиметься. На рис. 1 показана залежність величини похибки дискретності δ в залежності від розрядності перетворення k . З рисунку видно, що при наявності вимоги про допустиму похибку легко визначити число необхідних розрядів перетворення.

Відтворюваний рівень B_i' дорівнює $B_i' = B_i \pm \xi_i$, де ξ_i – похибка відтворення рівня B_i .

Тому, замість перетворюваного сигналу B_x відтворюється $B_i' = B_x \pm \delta \pm \xi_i$.

Якщо $\xi_i \gg 1/2 B_h$, тоді останнім можна знехтувати і вся похибка визначатиметься точністю відтворення. Отже, квантування виконується з надлишковою точністю. Якщо $\xi_i \ll 1/2 B_h$, тоді крок квантування перевищує точність відтворення і немає потреби виконувати його з високою точністю.

Звідси випливає критерій для оптимальної точності аналого-цифрового перетворення по відношенню до точності відтворення $\xi_i \leq 1/2 B_h$.

Окремо слід розглянути природу ξ_i . При відтворенні ділянок площі елементів зображення їх лінійні розміри можна витримати з точністю $\pm \beta$. Наприклад, при електронно-літографічному відтворенні структури ЕІ, така точність включає точність заданої програми, точність накреслення топології електронним променем та витримки дози опромінювання, точність проявки, діаметр електронного променя і т. п.

Таким чином, β можна назвати точністю технологічного процесу. При накресленні прямокутника зі сторонами a та b похибка відтворення його площі з врахуванням β визначатиметься як

$$dS = \beta \cdot a + \beta \cdot b = \beta \cdot (a + b) = \beta \cdot (P/2), \tag{2}$$

де dS – похибка відтворення площі; P – периметр. Очевидно, що з фігур рівної площі найменшу похибку дає квадрат, а зі зростанням відношення a/b вона підвищується. Виходячи з цього, доцільно обрати найменшою фігурою ЕІ квадрат. В елементах відображення, які містять декілька ділянок, необхідно оцінити похибку накреслення ділянки найменшої площі, припускаючи, що для великих фігур ця умова здійснима.

Враховуючи, що у розглянутому випадку похибка відтворення залежить від топології ділянок ЕІ, можна вважати, що ξ_i дорівнює dS , тобто похибці відтворення площі ділянки ЕІ.

Вплив точності технологічного процесу враховується наступним чином. На графіку у координатах a та S , де зображена залежність площі квадрата від довжини його сторони (тобто $S = a^2$), будується ряд залежностей dS від a для різних β . Оскільки для існуючих технологічних процесів точність відтворення топологічного рисунку β становить в межах 0,5% – 20%, проводимо серію ліній з фіксованими β . На рис. 2 наведені такі залежності. Криві перетину параболи $S = a^2$ та пучка прямих $dS = \beta \cdot 2a$ обмежують області, де величина площі квадрата є співрозмірною з допустимою похибкою для кожного β . Якщо нам відома розрядність квантування відеосигналу, тоді визначимо максимальну похибку дискретизації δ . Після цього, вирішуючи спільно систему рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \delta \cdot S &= a^2 \\ dS &= \beta \cdot 2a \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

відносно a , знаходимо мінімальний розмір сторони квадрата в ЕІ.

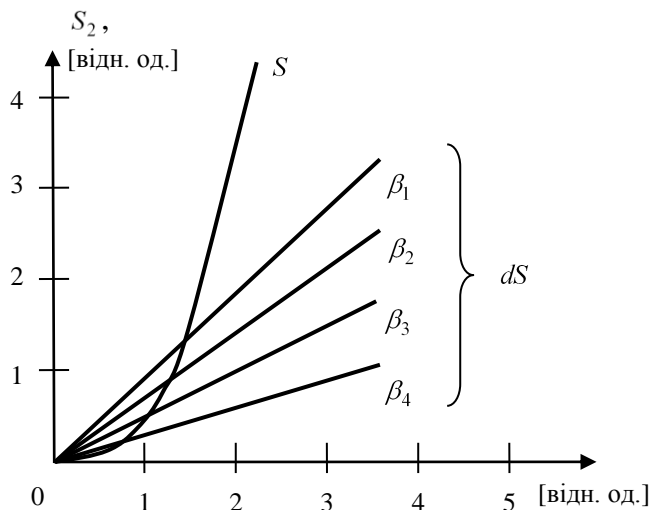


Рис. 2. Визначення мінімальних розмірів елемента індикації залежно від точності технологічного процесу

Похибка визначення площі прямокутника, яка розраховується по формулі $dS = \beta \cdot a + \beta \cdot b$, у випадку, якщо $\beta a = \beta b$ перетворюється на $dS = 2 \cdot \beta \cdot a = \beta \cdot (P/2)$.

Розглянемо ряд прямокутників, які мають однакову площу, але різне співвідношення між сторонами. Визначимо для них значення ΔS , припускаючи, що величина $\beta = const$.

Для цих прямокутників знайдемо також співвідношення їх периметру до площі, що позначимо $\eta = P/S$. Побудуємо графіки залежностей $\eta = f(a/b)$ та $\Delta S = f(a/b)$. На осі абсцис відкладемо співвідношення сторін обраного прямокутника, який змінюється від 0 до 1. Вид графіків наведений на рис. 3. Можна зробити висновок, що величина похибки при математичному її визначенні повністю корелює з параметром η , який характеризує відношення площі прямокутника до його периметру.

Як відомо з роботи [3], якість сприйняття інформації оператором визначається, в основному, яскравісним контрастом символів K , що пред'являються. Наприклад, для ЕЛІ $K = \gamma \cdot B \cdot F(\gamma) \cdot E$, де B – ефективна яскравість індикатора; γ – коефіцієнт відбиття зовнішнього освітлення, який характеризується освітленістю E , від робочої поверхні індикатора; τ – коефіцієнт поглинання в шарах ЕЛІ; $F(\gamma)$ – функція, яка враховує розподілення світлових потоків в індикаторі. Автор роботи [4], розглянувши формування світлових потоків в ЕЛІ, показав, що зниження яскравісного контрасту серед інших причин обумовлене і відбиттям падаючого на індикатор випромінювання від поверхонь розподілу у випромінюючій структурі. Крім того, наявність не ортогональних світлових пучків, які поширюються в структурі ЕЛІ, призводить до утворення ореолу навколо символу, що світиться. Аналіз роботи показав, що для підвищення яскравісного контрасту в умовах зовнішнього засвічення необхідно:

- зовнішні світлові пучки пропускати у структуру тільки в тих місцях, де формується символ, що світиться, а в інших ділянках екрану необхідно виконувати їх поглинання;
- зовнішнє випромінювання необхідно каналізувати всередину структури, формуючи з нього випромінювання, що ортогонально виходить;
- у випадку представлення динамічної інформації поглинаючі ділянки повинні займати всю неробочу частину екрану.

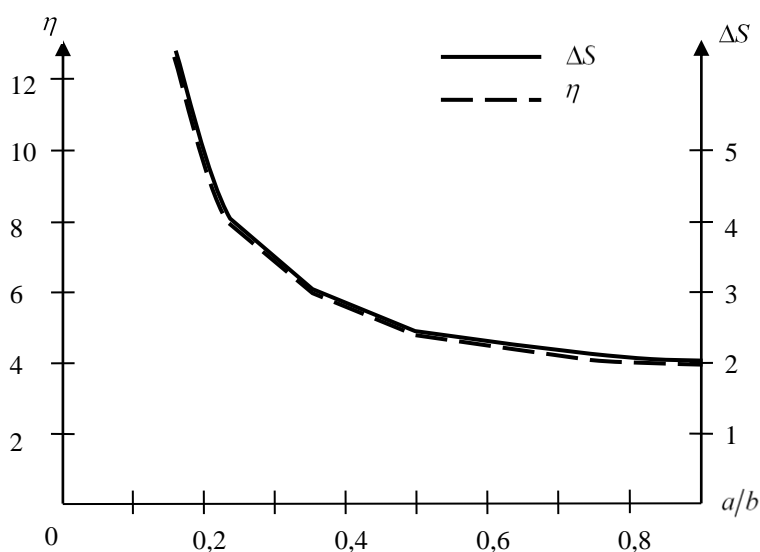


Рис. 3. Залежність похибки відтворення площі ΔS та відношення периметра до площі прямокутника η для прямокутників з різним співвідношенням сторін

Виходячи з таких передумов розроблений конструктивний варіант ЕЛІ [5], який, окрім підвищеної світловидатності та покращеної контрастності випромінювання, також є надійнішим в експлуатації (рис. 4). Матричний ЕЛІ містить прозору діелектричну підкладку 1, прозорі горизонтальні електроди 2, шар захисної рідини 3, непрозору діелектричну підкладку 4, у заглибленнях якої сформовані металеві вертикальні електроди 5, другий шар прозорого діелектрика 6, електролюмінофор (ЕЛ) 7 та перший шар прозорого діелектрика 8.

Діелектрична підкладка 1 виготовлена з листового скла, прозорі горизонтальні електроди 2 – з плівки двоокису олова SnO_2 , іноді з додаванням двоокису індія InO_2 . Металеві вертикальні електроди 5 виготовлені з металу з високим коефіцієнтом відбиття, наприклад з Al , який має хорошу адгезію до скла при вакуумному напиленні та коефіцієнт відбиття 0,95 у видимому спектральному діапазоні. Діелектрик 6 – це шар SiO_2 , який утворений методом термовакуумної сублимації твердого двоокису кремнію з наступною конденсацією на підкладці 4. Шар ЕЛ має товщину 1 мкм і утворюється осадженням з парової фази плівки ZnS . З метою підвищення яскравісних характеристик та надійності шар ЕЛ активують марганцем Mn та хлором Cl . На відстані $\approx 1\text{ мкм}$ від шару 8 розташовується прозора діелектрична підкладка 1, а утворений простір заповнюється шаром рідкокристалевої речовини (РКР) 3. Пристрій герметизується по краях, а до виступаючих частин електродів під'єднуються зовнішні виводи.

При подачі змінної напруги до електродів у місці їх перетину до шарів ЕЛ та РКР прикладається електричне поле. У системі з двох послідовно з'єднаних емностей починає протікати ємнісний струм, який викликає свічення люмінофору, а в шарі РКР відбувається переорієнтація молекулярних кіл, що призводить до його просвітлення. 50% фотонів, збуджених у прозорому шарі ЕЛ, через утворене вікно у шарі РКР, електрод 2 та підкладку 1 потраплять до спостерігача. Останні 50% (направлені у протилежну сторону) проходять через діелектрик та, відбившись від електроду 5, також виводяться у бік спостерігача. Це дає можливість майже у 2 рази підвищити зовнішню ефективність ПВІ.

У відомих конструкціях підвищення яскравості зовнішнього фону призводить до зменшення яскравісного контрасту за рахунок зменшення різності у яскравості між символом, що світиться, та фоном. У розробленому ПВІ величина фону лишається практично незмінною, оскільки вона визначається відбиттям від лицьової панелі та межі розподілу між шарами 1 та 2. Теж саме випромінювання, що пройшло через ці шари, поглинається РКР та не підвищує яскравість фону. Частина зовнішнього фону, яка потрапила у вікно в шарі РКР, пройшовши через шар ЕЛ, діелектрика та також відбившись від шару 5, повернеться до спостерігача і зробить свій внесок до корисного світлового потоку. Тому, чим вище яскравість фону, тим більший його внесок до цього потоку. Внаслідок цього відбувається підвищення яскравісного контрасту при інших рівних умовах, який зростає з підвищенням яскравості зовнішнього освітлення.

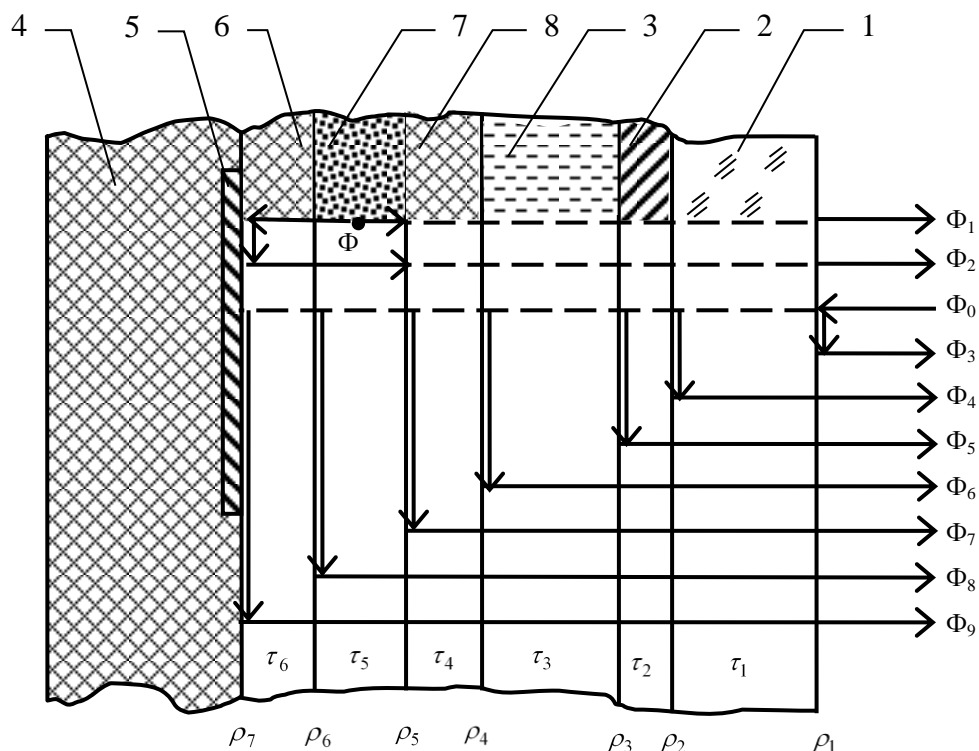


Рис. 4. Конструкція та розподілення світлових потоків у електролюмінесцентному індикаторі з підвищеною контрастністю

Шар РКР слугує в якості захисної рідини між шаром ЕЛ та горизонтальними електродами, встановлюючи між ними емнісний контакт. Тому не відбувається травмування шару ЕЛ у процесі виготовлення цих електродів та відсутні електроміграційні процеси в робочому режимі, що призводить до зростання надійності ЕЛІ. З іншого боку, маючи властивість поляризуватися, шар РКР дає можливість знизити робочу напругу індикатора та вимоги до елементів схем керування, що також позитивно впливає на надійність та довговічність роботи.

Розташування шару РКР перед шаром ЕЛ дозволяє зменшити ореол навколо ЕІ шляхом деякої «каналізації» зовнішнього випромінювання у структуру і відбитого світла назвні.

Підвищення надійності роботи ПВІ досягається також за рахунок заглиблення металевих електродів у приповерхневий шар діелектричної підкладки. Це пояснюється тим, що при нанесенні шару діелектрика та ЕЛ на виступаючі електроди біля їх межі (на сходинці) товщина шару діелектрика буде меншою, ніж в інших місцях. Тому, саме тут концентрується найбільша напруженість поля, що призводить до підсилення електроміграційного процесу, який зменшує електричну тривкість діелектрика. У даній конструкції шар діелектрика наноситься на рівну поверхню, має однакову товщину, що зменшує ймовірність прояву цих процесів, тим самим підвищуючи надійність функціонування ПВІ.

Розглянемо для запропонованої конструкції питання формування світлових потоків. На рис. 4 зображено фрагмент ПВІ, де прийнято такі позначення:

Φ – світловий потік, який випромінюється ЕЛ шаром, розкладається на:

Φ_1 – світловий потік, який виходить у бік спостерігача;

Φ_2 – світловий потік, який відбивається від тильного електроду.

Φ_0 – світловий потік, який падає на ПВІ, розкладається на:

Φ_3, Φ_4, Φ_5 – світлові потоки, які відбиваються від лицьової панелі та горизонтальних електродів;

$\Phi_6, \Phi_7, \Phi_8, \Phi_9$ – світлові потоки, які пройшли через шар РКР та відбилися у бік спостерігача.

$\tau_1 - \tau_9$ – коефіцієнти поглинання в шарах 1–6.

$\gamma_1 - \gamma_7$ – коефіцієнти відбиття від меж розподілу шарів.

У формування корисного світлового сигналу роблять свій внесок світлові потоки $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_6 - \Phi_9$.

Світлові потоки $\Phi_3 - \Phi_5$ утворюють фонове засвічення. Визначимо величину кожного з цих потоків.

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \Phi \cdot 0,5 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot (-\gamma_1) \cdot (-\gamma_2) \cdot (-\gamma_3) \cdot (-\gamma_4) \cdot (-\gamma_5); \\ \Phi_2 &= \Phi \cdot 0,5 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5^2 \cdot \tau_6^2 \cdot (-\gamma_1) \cdot (-\gamma_2) \cdot (-\gamma_3) \cdot (-\gamma_4) \cdot (-\gamma_5) \cdot (-\gamma_6) \cdot \gamma_7; \\ \Phi_6 &= \Phi_0 \cdot \gamma_4 \cdot (-\gamma_1) \cdot (-\gamma_2) \cdot (-\gamma_3) \cdot \tau_1^2 \cdot \tau_2^2 \cdot \tau_3^2; \\ \Phi_7 &= \Phi_0 \cdot \gamma_5 \cdot (-\gamma_1) \cdot (-\gamma_2) \cdot (-\gamma_3) \cdot (-\gamma_4) \cdot \tau_1^2 \cdot \tau_2^2 \cdot \tau_3^2 \cdot \tau_4^2; \\ \Phi_8 &= \Phi_0 \cdot \gamma_6 \cdot (-\gamma_1) \cdot (-\gamma_2) \cdot (-\gamma_3) \cdot (-\gamma_4) \cdot (-\gamma_5) \cdot \tau_1^2 \cdot \tau_2^2 \cdot \tau_3^2 \cdot \tau_4^2 \cdot \tau_5^2; \\ \Phi_9 &= \Phi_0 \cdot \gamma_7 \cdot (-\gamma_1) \cdot (-\gamma_2) \cdot (-\gamma_3) \cdot (-\gamma_4) \cdot (-\gamma_5) \cdot (-\gamma_6) \cdot \tau_1^2 \cdot \tau_2^2 \cdot \tau_3^2 \cdot \tau_4^2 \cdot \tau_5^2 \cdot \tau_6^2; \\ \Phi_3 &= \Phi_0 \cdot \gamma_1; \\ \Phi_4 &= \Phi_0 \cdot \gamma_2 \cdot (-\gamma_1) \cdot \tau_1^2; \\ \Phi_5 &= \Phi_0 \cdot \gamma_3 \cdot (-\gamma_1) \cdot (-\gamma_2) \cdot \tau_1^2 \cdot \tau_2^2. \end{aligned} \tag{4}$$

З врахуванням певних світлових потоків знайдемо величину функції $F = f(\gamma)$

$$F(\gamma) = \frac{\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_6 + \Phi_7 + \Phi_8 + \Phi_9}{\Phi_3 + \Phi_4 + \Phi_5}. \tag{5}$$

Висновки

Порівняно з традиційною структурою ЕЛІ, яка наведена в [4], де

$$F(\gamma) = \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{\Phi_3 + \Phi_4 + \Phi_5 + \Phi_6 + \Phi_7 + \Phi_8 + \Phi_9}, \tag{6}$$

у запропонованій конструкції вдалося більш ніж у 2 рази збільшити яскравісний контраст.

Показана можливість розрахунку необхідної точності квантування зображення, яке підготовлене до запису, знаючи заздалегідь форму елементів зображення, якими виконуватиметься такий запис, рівень точності використовуваного технологічного обладнання та допустиму вірогідність правильного зчитування інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузёмко Н.Г., Деркач В.П. А.с. 1049958 СССР, МКИ⁴ G 09 G 3/18. Матричный индикатор. – Оpubл. 23.10.1983, Бюл. №39.

2. Хлистунов В.Н. Цифровые электроизмерительные приборы. –М.: Энергия, –1967.
3. Шерр С. Электронные дисплеи. – М.: Мир. –1982.
4. Литвак И.И. К оценке видимости символов, формируемых на ЭЛИ. / Проблемы инженерной психологии. – Л.: ЛГУ, вып. 4. –1968.
5. Кузёмко Н.Г., Климентович В.А. А.с. 1642597 СССР, МКИ⁴ Н 05 В 33/22. Матричный электролюминесцентный индикатор /– Оpubл. 15.04.1991, Бюл. №14.