

## МНОГОТАКТНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВЫХ ФОРМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СООБЩЕНИЙ НА СВЕТОДИОДНОЙ ШКАЛЕ

Предложены аналитические выражения, описывающие многотактный метод формирования дискретно-аналоговой формы представления данных на светодиодной шкале. Проведен анализ логико-временных закономерностей формирования аддитивной информационной модели представления сообщений на многоэлементном информационном поле системы отображения информации. Определены и проанализированы аналитические описания информационных моделей, соответствующих формированию визуального образа сообщения при двухкоординатном матричном электрическом соединении излучающих элементов светодиодной шкалы путем сканирования матрицы по одной из координат.

**Ключевые слова:** информационная модель, информационное поле, дискретно-аналоговое устройство, светодиодная шкала, динамическая система формирования символов, синтез изображения.

### Введение

Основное внимание разработчиков эргатических систем сосредоточилось на обеспечении соответствующего уровня параметров канала связи между оператором и техническими средствами [1-3]. В таком канале в основе процесса передачи данных лежит информационная модель (ИМ), устанавливающая систему правил кодирования передаваемых сообщений. Среди ИМ средств отображения информации различного назначения, наибольшей надежностью обладают дискретно-аналоговые (шкальные) формы. Это обусловлено высоким уровнем соответствия визуальной формы используемых символов их значению, значительной информационной избыточностью шкального отсчета. Использование таких форм, позволяет сократить число ошибок и грубых промахов при считывании и интерпретации данных оператором, что обеспечивает высокую надежность канала связи с оператором [4, 5]. Обычно в промышленных системах и устройствах отображения информации используются позиционная и аддитивная форма ИМ [3, 6]. В первом случае на светодиодной шкале индикатора отсчет определяется положением светящегося элемента, а во втором — как общей протяженностью светящейся линии, так и положением ее отсчетного конца относительно внешних отметок шкалы.

При отсутствии жестких ограничений на энергопотребление предпочтительным является аддитивная модель шкального представления информации, обеспечивающая более высокий уровень эргономических и надежности показателей, нашедшая широкое применение в информационно-измерительных системах различного назначения, средствах контроля и управления [1, 3, 6]. Надежность и эффективность проектируемой системы отображения достигается за счет предварительного анализа и последующего отбора вариантов построения структуры системы, оптимизации функциональных и технических решений ее отдельных узлов. Структуру устройства вывода информации определяет ИМ, которая соответствует принятому методу кодирования сообщений и описывающая алгоритм формирования визуальных образов на информационном поле (ИП).

Для аналитического описания процесса преобразования и представления данных в информационных системах наиболее часто используются множественные и логические методы [1, 2, 8]. Настоящая работа посвящена получению и анализу логико-временных закономерностей формирования ИМ аддитивного дискретно-аналогового представления информации на многоэлементной светодиодной шкале индикатора.

### 1. Аналитическое описание отображения сообщения на светодиодной шкале индикатора

Визуальные образы сообщений, предназначенных для оператора, в устройствах отображения данных формируются на ИП индикатора, которое, в общем случае, представлено множеством  $A$  элементов  $a_i$  в виде:

$$A = \{ a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_{(p-1)}, a_p \}, \quad (1)$$

где  $p$  - общее количество элементов шкалы  $i = \overline{1, p}$ .

Дискретно-аналоговое представление данных предполагает, что каждый из элементов  $a_i$  имеет свою весовую функцию со значением  $\overline{w}(a_i) < \overline{w}(a_{j+1})$ , которое жестко связано с его пространственным положением на ИП и пропорционально его номеру  $j$  в совершенно упорядоченном множестве  $A$  [9]. На нем определена весовая функция и выполняется условие  $\overline{w}(a_i) < \overline{w}(a_{j+1})$  для всех  $j = \overline{1, p}$ . Передача данных оператору осуществляется на основе значений весовых функции отдельных элементов относительно пространственной многоканальной меры [10].

Для повышения информативности устройства отображения используют ИП с числом элементов  $p > 25..30$ , а для увеличения надежности узел визуализации сообщений реализуют в виде двумерной матрицы из  $n$  групп по  $t$  элементов, где  $p = n \times t$  [1, 3]. В каждую группу входят элементы, весовые функции которых в последовательных парах отличается на единицу. Значение весовой функции группы элементов определяется ее положением на ИП относительно пространственной многоканальной меры. В результате элемент  $a_i$  можно представить в виде соответствия  $a_i \Leftrightarrow a_{xy}$ , то есть как элемент, имеющий номер  $y$  в группе с номером  $x$ , где  $x = \overline{1, n}$ , а  $y = \overline{1, m}$ . При этом его позиционный номер во множестве  $A$  определяется выражением  $j = mx + y$ . Следовательно,  $v$ -й элемент в матрице занимает  $y_v = n - mE(v/m)$  позицию в группе с номером  $x_v = E(v/m) + 1$ , где  $E$ —антье. Поэтому множество элементов ИП с матричным электрическим соединением  $A^M$ , исходя из выражения (1), может быть задано как

$$A^M = \{ a_{11}, a_{12}, \dots, a_{xy}, \dots, a_{n(m-1)}, a_{nm} \}, \quad (2)$$

Представление передаваемых данных синтезируется на ИП в виде визуальных символов, которые образуют соответствующий алфавит. Опишем аддитивную дискретно-аналоговую форму ИМ множеством

$$\Omega_{BG} = \{ S_{1BG}, S_{2BG}, \dots, S_{vBG}, S_{(l-1)BG}, S_{lBG} \}, \quad (3)$$

где  $\Omega_{BG}$  — алфавит сообщений;  $S_{vBG}$  —  $v$ -й символ ИМ, причем,  $v = \overline{1, l}$ ;  $l$  — длина алфавита.

Визуальные образы символов  $S_{vBG}$  множества (3) формируются из ряда элементов  $a_i \Leftrightarrow a_{xy}$  с последовательным набором значений весовых функций, начиная от минимальной  $\overline{w}_1 = \overline{w}(a_1) = \overline{w}(a_{11})$  до величины  $\overline{w}_v = \overline{w}(a_v)$ , которая соответствует представляемым данным. Тогда, согласно ИМ, каждому символу  $S_{vBG} \subset \Omega_{BG}$  можно поставить во взаимно однозначное соответствие подмножество  $\overset{\sim}{A}_{vBG}^M$  элементов  $a_{xy}$  множества  $A^M : S_{vBG} \Leftrightarrow \overset{\sim}{A}_{vBG}^M$ .

Поэтому для случая, когда ИП задано множеством (2), символы алфавита (3) можно представить с использованием оператора объединения:

$$S_{vBG} \Leftrightarrow A_{vBG}^M = \bigcup_{i=1}^v a_i = \{ a_{11}, a_{12}, \dots, a_{x_i y_i}, \dots, a_{x_v y_{v-1}}, a_{x_v y_v} \}. \quad (4)$$

Матричное электрическое соединение не позволяет одновременно возбудить все элементы  $a_{x_i y_i}$ , которые в соответствии с выражением (4) входят во множество  $\tilde{A}_{vBG}^M$ .

Поэтому применяется динамическая система формирования символов  $S_{vBG}$  за ряд последовательных интервалов времени (тактов) [1, 3]. Их количество  $r$  определяется ИМ и соответствует алгоритму сканирования элементов ИП. Для этого каждое из множеств  $\tilde{A}_{vBG}^M$  разделяется на ряд непересекающихся подмножеств  $\tilde{A}_{vBG}^{Mq}$ , которые возбуждаются в разные такты формирования соответствующего символа  $S_{vBG}$ . В этом случае множество  $\tilde{A}_{vBG}^M$  представляется тождественным множеством  $\tilde{A}_{vBG}^{Mq}$ , которое является его динамическим эквивалентом за период  $T_s$  синтеза символа  $S_{vBG}$ , и может быть описано выражением вида

$$\tilde{A}_{vBG}^M \Leftrightarrow \tilde{A}_{vBG}^{MD} = \left\{ \tilde{A}_{vBG}^{M1}, \tilde{A}_{vBG}^{M2}, \dots, \tilde{A}_{vBG}^{Mq}, \dots, \tilde{A}_{vBG}^{M(r-1)}, \tilde{A}_{vBG}^{Mr} \right\}, \quad (5)$$

При этом для динамической ИМ, формирующей на ИП дискретно-аналоговое аддитивное представление данных за  $r$  тактов, можно записать оператор

$$S_{vBG} \Leftrightarrow \tilde{A}_{vBG}^{MD} = \bigcup_{i=1}^v a_i \Big|_{T_s} = \bigcup_{q=1}^r \tilde{A}_{vBG}^{Mq} \Big|_{T_s}, \quad (6)$$

Для создания устойчивого зрительного образа любого визуального символа должно обязательно выполняться условие более высокого значения частоты регенерации изображения  $f_s = 1/T_s$  по сравнению с критической частотой слияния мельканий [7]. При этом каждая группа элементов  $a_{x_i y_j}$ , входящая в соответствующее множество  $\tilde{A}_{vBG}^{Mq}$ , возбуждается во время каждого периода регенерации символа в течение интервала времени  $\tau_d = \frac{T_s}{r}$ .

## 2. Анализ закономерностей формирования информационных моделей

Метод сканирования элементов ИП определяет процедуру образования групп (множеств)  $\tilde{A}_{vBG}^M$  из элементов  $a_{x_i y_j}$ , соответствующих выражению (5). В настоящее время наибольшее распространение при двухкоординатном матричном электрическом соединении элементов шкалы получило формирование изображения путем сканирования матрицы по одной из координат [1, 3]. В этом случае количество элементов  $\tilde{A}_{vBG}^{Mq}$  множества  $\tilde{A}_{vBG}^{MD}$ , заданного выражением (5), и число тактов формирования модели (6) составит  $r=m \times n$ . Такие два метода сканирования ИП позволяют сформировать произвольное множество  $\tilde{A}_{vBG}^M$ , поскольку в любой из тактов может быть возбуждено любое количество элементов или одной включенной строки (младшего разряда), или одного включенного столбца (старшего разряда) индикаторной матрицы.

При синтезе изображения сканированием по строкам (младшим разрядам) матрицы ИП множество  $\tilde{A}_{vBG}^M$  представленное в общем виде выражением (5), приобретает следующую форму

$$\tilde{A}_{vBG}^M \Leftrightarrow \tilde{A}_{vBG}^{MSL} = \left\{ \tilde{A}_{vBG}^{M1SL}, \tilde{A}_{vBG}^{M2SL}, \dots, \tilde{A}_{vBG}^{MqSL}, \dots, \tilde{A}_{vBG}^{M(n-1)SL}, \tilde{A}_{vBG}^{MnSL} \right\}, \quad (7)$$

а при формировании визуального образа по столбцам (старшим разрядам) –

$$\tilde{A}_{vBG}^M \Leftrightarrow \tilde{A}_{vBG}^{MSH} = \left\{ \tilde{A}_{vBG}^{M1SH}, \tilde{A}_{vBG}^{M2SH}, \dots, \tilde{A}_{vBG}^{MqSH}, \dots, \tilde{A}_{vBG}^{M(n-1)SH}, H, \tilde{A}_{vBG}^{MnSH} \right\}, \quad (8)$$

где  $\tilde{A}_{vBG}^{MDSL}, \tilde{A}_{vBG}^{MDSH}$  –  $m$  и  $n$  – элементные множества, соответствующие возбуждению ИП по младшим и старшим разрядам;  $\tilde{A}_{vBG}^{MqSL}, \tilde{A}_{vBG}^{MqSH}$  – элементы множеств  $\tilde{A}_{vBG}^{MDSL}, \tilde{A}_{vBG}^{MDSH}$ , соответственно.

Каждый из  $m$  элементов  $\tilde{A}_{vBG}^{MqSL}$ , входящих во множество  $\tilde{A}_{vBG}^{MDSL}$ , в свою очередь, представляет собой множество элементов одной из строк матрицы

$$\tilde{A}_{vBG}^{MqSL} = \bigcup_{x=1}^{\omega} a_{xy} \Big|_{y=q} = \left\{ a_{1q}, a_{2q}, \dots, a_{xq}, \dots, a_{(\omega-1)q}, a_{\omega q} \right\}, \quad (9)$$

где  $\omega$  — количество возбужденных элементов в строке (младшем разряде), причем, в общем случае,  $\omega = \overline{0, n}$ .

Множество  $\tilde{A}_{vBG}^{MDSH}$  образовано из  $n$ -элементов  $\tilde{A}_{vBG}^{MqSH}$ , состоящих из элементов одного из столбцов матрицы

$$\tilde{A}_{vBG}^{MqSH} = \bigcup_{y=1}^u a_{xy} \Big|_{x=q} = \left\{ a_{q1}, a_{q2}, \dots, a_{qy}, \dots, a_{q(u-1)}, a_{qu} \right\}, \quad (10)$$

где  $u$  - количество возбужденных элементов в столбце (старшем разряде), причем, в общем случае,  $u = \overline{0, m}$ .

### 3. Многотактный синтез представления сообщений на светодиодной шкале

Анализ процесса синтеза визуального образа символов  $S_{vBG} \subset \Omega_{BG}$  по младшим разрядам матрицы элементов ИП показывает, что для этого необходимо  $t$  тактов, в течение каждого из которых возбуждается либо  $E(v/m)+1$  либо  $E(v/m)$  элементов одного из  $t$  младших разрядов матрицы. Тогда, исходя из обобщенного представления модели (6) с учетом соотношений (7) и (9), ИМ аддитивного шкального отображения данных на индикаторе с матричным электрическим соединением элементов при их сканировании по младшим разрядам можно записать в виде

$$S_{vBG} \Leftrightarrow \tilde{A}_{vBG}^{MD} \Leftrightarrow \tilde{A}_{vBG}^{MDSL} = \left\{ \bigcup_{i=1}^v a_i \Big|_{Ts} = \bigcup_{q=1}^m \tilde{A}_{vBG}^{MqSL} \Big|_{Ts} = \left[ \bigcup_{y=1}^{v-mE(\frac{v}{m})} \left[ \bigcup_{x=1}^{E(\frac{v}{m})+1} a_{xy} \Big|_{t=t+(y-1)\frac{Ts}{m}}^{t=t+y\frac{Ts}{m}} \right] \right] \bigcup \left[ \bigcup_{y=v-mE(\frac{v}{m})+1}^m \left[ \bigcup_{x=1}^{E(\frac{v}{m})} a_{xy} \Big|_{t=t+(y-1)\frac{Ts}{m}}^{t=t+y\frac{Ts}{m}} \right] \right] \right\}, \quad (11)$$

где  $t$  – текущее время.

Видно, что в ИМ (11), которая описывает формирование символа  $S_{vBG}$  в динамическом режиме за  $t$  тактов, выделяется два интервала времени. В течение одного из них, который начинается с первого и заканчивается  $q_1 = v - mE(v/m)$  тактом, поочередно последовательно возбуждаются группы из  $E(v/m) + 1$  начальных элементов  $q_1$  младших строк матрицы. Второй интервал образован тактами с номерами от  $q_2 = v - mE(v/m) + 1$  до  $t$ . В это время поочередно последовательно возбуждаются группы из  $E(v/m)$  элементов ИП с меньшими значениями весовой функции в строках с номерами от  $q_2$  до  $t$ .

Формирование изображения символа  $S_{vBG}$  по старшим разрядам матрицы элементов ИП реализуется за  $n$  тактов, в каждый из которых возбуждается либо  $m$ , либо  $v - mE(v/m)$ , либо ни одного элемента одного из старших разрядов матрицы. В этом случае, исходя из обобщенной модели (6) с учетом выражений (8) и (10), ИМ аддитивного дискретно-аналогового представления информации на шкале с матричным электрическим соединением элементов при их сканировании по старшим разрядам можно представить в виде

$$S_{vBG} \Leftrightarrow \overset{\sim}{A}_{vBG}^{MD} \Leftrightarrow \overset{\sim}{A}_{vBG}^{MDSH} = \bigcup_{i=1}^v a_i \Big|_{T_s} = \bigcup_{q=1}^n \overset{\sim}{A}_{vBG}^{MqSH} \Big|_{T_s} = \left\{ \bigcup_{x=1}^{E(\frac{v}{m})} \left[ \bigcup_{y=1}^m a_{xy} \Big|_{\substack{t=t+y\frac{T_s}{n} \\ t=t+(x-1)\frac{T_s}{n}}} \right] \right\} \cup \left\{ \bigcup_{x=E(\frac{v}{m})+1}^n \left[ \bigcup_{y=1}^{v-mE(\frac{v}{m})} a_{xy} \Big|_{\substack{t=t+x\frac{T_s}{m} \\ t=t+(x-1)\frac{T_s}{m}}} \right] \right\} \cup \left\{ \bigcup_{x=E(\frac{v}{m})+2}^n \left[ A_{\emptyset} \Big|_{\substack{t=t+x\frac{T_s}{m} \\ t=t+(x-1)\frac{T_s}{m}}} \right] \right\} \quad (12)$$

где  $A_{\emptyset}$  -пустое множество.

Обращает на себя внимание тот факт, что в ИМ (12), которая описывает формирование символа  $S_{vBG}$  в динамическом режиме за  $n$  тактов, наблюдается три интервала времени. В течение первого интервала, который соответствует тактам с первого по  $q_3 = E(v/m)$ , возбуждаются все элементы первых  $q_1$  столбцов матрицы. Во время второго интервала, равного по продолжительности одному такту, в возбужденное состояние переводятся элементы столбца с номером  $q_4 = E(v/m) + 1$ . Их количество может изменяться от одного до  $m$  элементов в зависимости от воспроизводимого символа и равно  $v - mE(v/m)$ . Третий интервал, который образован тактами с номерами от  $q_4 = E(v/m) + 2$  до  $n$ , характерен тем, что возбуждение ИП отсутствует вообще.

Это соответствует формированию пустых множеств  $A_{\emptyset}$  элементов соответствующих столбцов матрицы. Вследствие инерционности зрительного анализатора человека такая процедура позволяет сформировать протяженный визуальный образ из возбужденных индикаторных элементов от первого  $a_{11}$  до заданного  $a_{x.v}$ .

Сопоставление двух ИМ, которые описываются операторами (11) и (12), показывает, что при сканировании матрицы элементов ИП по старшим разрядам имеется ряд тактов, в которые не возбуждается ни один из элементов индикатора. Это дает основания утверждать, что при формировании визуального образа шкального представления данных по младшим разрядам имеет место более эффективное и рациональное использование элементов ИП и схемы управления ими.

Также при такой ИМ за счет более равномерного по времени потребления тока достигается экономия энергии источника питания, что крайне важно при реализации систем управления в интегральном исполнении и использовании полупроводниковых излучателей в качестве элементной базы индикатора.

## Выводы

В статье рассмотрены принципы динамического формирования аддитивной модели представления данных на светодиодной шкале индикатора с матричным соединением элементов.

На основании теории множеств дано формализованное описание синтеза информационных символов из его дискретных элементов.

Получены логические операторы математической модели процесса многостадийного формирования информационного поля светодиодной шкалы.

Предложены, проанализированы и сопоставлены параметры аддитивной ИМ представления данных на многоэлементной шкале со сканированием по старшим и младшим разрядам матрицы ИП.

Представленные результаты создают аналитическую базу для перспективных исследований и комплексной оптимизации функциональных, структурных и схемотехнических решений устройств вывода и представления информации в оптоэлектронных информационно-измерительных системах.

Это позволяет существенно повысить эффективность систем отображения информации, упростить их интеграцию в автоматизированные средства контроля и управления сложными объектами и производственными процессами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lidwell W., Holden K., Butler J. Universal Principles of Design: 100 Ways to Enhance Usability, Influence Perception, Increase Appeal, Make Better Design Decisions, and Teach Through Design. ñ Gloucester, Massachusetts, USA: Rockport Publishers, Inc, 2003. ñ 216 p.
2. Handbook of Human Factors and Ergonomics / Edited by G. Salvendy. ñ Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2006. ñ 1680 p.
3. Бушма А.В. Информационная избыточность форм визуализации данных как средство повышения надежности радиоэлектронной аппаратуры // Радиоэлектроника. -2003. - №2. - С. 8-15.
4. Мусаев Э. С. Оптоэлектронные устройства на полупроводниковых излучателях. -М: Радио и связь, 2004. - 208 с.
5. Быстров Ю. Оптоэлектронные приборы и устройства. -М: РадиоСофт, 2001. -256 с.
6. Куликовский Л.Ф., Мотов В.В. Теоретические основы информационных процессов. - М.: Высшая школа, 1987.-452с.
7. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. -К.: Техніка, 1975. -768 с.
8. Ермаков О. Н. Прикладная оптоэлектроника. . М.: Техносфера, 2004. - 416 с.
9. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. - М: Техносфера, 2006. - 592 с.

Надійшла: 27.02.2014 р

Рецензент: д.т.н., проф. Толюпа С.В.