УДК 621.317.7

А.В. Бушма[1], В.П. Ярцев[2]

[1]*Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев*
[2]*Государственный университет телекоммуникаций, Киев*

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВЫХ ФОРМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СООБЩЕНИЙ НА СВЕТОДИОДНОЙ ШКАЛЕ

Предложена и аналитически обоснована методика оценки энергетической эффективности информационных моделей и оптимизации аппаратурных решений устройств с дискретно-аналоговой формой представления данных на светодиодной шкале.

Ключевые слова: *эффективность информационной модели, дискретно-аналоговое устройство, светодиодная шкала, коэффициент полезного действия, рассеиваемая мощность.*

1. Энергетические затраты элементов системы отображения информации при формировании сообщений на светодиодной шкале

Для оценки эффективности схем формирования информационных моделей (ИМ) проведем анализ затрат энергии при синтезе визуального образа информационного сообщения на светодиодной шкале с матричной $m \times n$ организацией электрических соединений излучающих элементов (ИЭ). При формировании информационных полей (ИП) дискретно-аналогового устройства отображения информации (УОИ) с размером алфавита 100 ИЭ и более используются мультипликативные (перекрестные) схемы управления в динамическом режиме, с периодом регенерации T_S. Операторное описание процесса формирования сообщения описывается выражением:

$$S\nu = \psi_S\{\psi_E\{\psi_D\{\psi_T(C\nu)\}\}\}, \qquad (1.1)$$

где ψ_S, ψ_E, ψ_D, ψ_T - операторы, описывающие преобразование информации из электрической формы в оптическую, формирование сигналов управления ИЭ, преобразование кодов сообщения в используемой ИМ и хранение данных.

В статическом режиме поступления сообщений, без запоминания входного кода C_ν, для периода формирования произвольного ***ν***-го сообщения $S\nu$ можно записать:

$$S_\nu = \psi_S\{\psi_E\{\psi_D(C_\nu)\}\}\Big|_{t=t+0}^{t=t+T_S}, \qquad (1.2)$$

Каждый из трех этапов обработки входного кода сообщения $C\nu$ реализуется соответствующей схемой преобразования (СП), формирования сигналов управления (СУ), потребляющих определенную энергию. При использовании аддитивной ИМ представления сообщений на ИП предполагается, что каждый из ***ν*** визуальных символов $S\nu_{BG}$ синтезируется из фиксированного количества ИЭ. Тогда затраты энергии на формирование электрических сигналов управления индикатором, реализующих ψ_E, и на возбуждение ИЭ, соответствующее ψ_S, зависит от числового значения ***ν*** представляемого информационного сообщения.

Потребление энергии схемой, реализующей оператор ψ_D, зависит от способа реализации управляющей функции и не зависит от обрабатываемого кода $C\nu$ информационного сообщения.

Суммарная электрическая мощность $P_\Sigma(\nu)$, необходимая для синтеза аддитивной ИМ $S\nu_{BG}$, может быть определена как:

$$P_\Sigma(\nu) = P_D + P_E(\nu) + P_S(\nu), \qquad (1.3)$$

где P_D, $P_E(\nu)$, $P_S(\nu)$ - мощность, потребляемая соответственно схемой преобразования кода входного сигнала, схемой формирования электрических сигналов управления ИЭ и элементами ЭОИ, формирующими визуальный образ информационного сообщения.

Схемы формирования сигналов управления ИЭ, как правило, выполнены на цифровых логических элементах (ЛЭ). Потребляемая мощность ЛЭ включает: рассеиваемую мощность во входной цепи, мощность в режиме холостого хода, мощность выходного каскада и выходную мощность нагрузки. Эти мощности подразделяются на статическую и динамическую.

Статическая рассеиваемая мощность – это средне-арифметическое значение мощности, рассеиваемой на каждом активном сопротивлении схемы логического элемента, находящегося в одном из устойчивых состояний. Для схемы формирования, работающей в переключательном режиме, кроме статической мощности следует учитывать динамическую рассеиваемую мощность, которая вызвана перекрытием токов смещения выходного транзисторного каскада (ТТЛ ЛЭ), перекрытия проводящих состояний полевых транзисторов (КМОП ЛЭ) и емкостной характер ИЭ светодиодной шкалы, являющихся нагрузкой.

Основная часть мощности P_E (v), потребляемой ЛЭ, рассеивается его выходным каскадом. Величина рассеиваемой мощности выходного каскада зависит от его схемы, логических уровней напряжения, быстродействия и выходной нагрузки. В ЛЭ схем управления широко используются следующие варианты схем выходных каскадов: двухтактный, источник тока, эмиттерный повторитель, выход с открытым коллектором. Для ограничения прямого тока через светодиод ($I_{пр}$=10…20 мА) последовательно с ним включен ограничительный резистор R_c. При необходимости увеличения прямого тока используются инверторы типа К514КТ1, обеспечивающие прямой импульсный ток светодиода до 400 мА при скважности 9, длительности импульса не более 0,5мс, $I^1_{вх} \leq 10$ мкА, $I^0_{вх} \leq 1$ мА. При импульсном питании светодиодов, значительно снижается статическая рассеивая мощность ЛЭ, возможно управление яркостью ИЭ за счет изменения скважности сигналов управления. На рис. 1 приведена схема двухтактного выходного каскада, поясняющая особенности работы ЛЭ на емкостную нагрузку. Схема замещения светодиода включает сопротивление утечки закрытого диода R_L, объёмное сопротивление R_S, емкость перехода *C(V)*, источник тока *I(V)*.

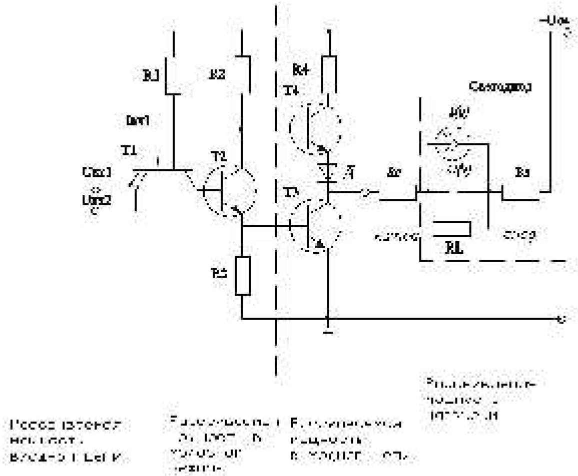

Рис. 1. Схема, поясняющая работу выходного каскада ЛЭ

Статическая рассеиваемая мощность равна произведению выходного тока (втекающего или вытекающего) на остаточное напряжение на проводящем плече двухтактной схемы.

Мощность, рассеиваемая в низкоуровневом состоянии на выходе, определяется как $P=U_{кэт3} * I_{кт3}$, где $U_{кэт3}$ - напряжение насыщения T_2(0,3-0,4В); $I_{кт3}$ - втекающий ток коллектора T_2.

Мощность, рассеиваемая в высокоуровневом состоянии на выходе, определяется как $P=(U_{cc}-U_{кэт4}-U_Д) * I_{кт4}$, где $(U_{кэт4}+U_Д)$ - падение напряжения на T_4 и Д(1,4В); $I_{кт4}$ - вытекающий ток коллектора T_4. Средняя полная статическая рассеиваемая мощность определяется как $P=(0{,}4I_{кт3}+1{,}0\ I_{кт4})/2$.

В момент времени когда на вход поступает информационное сообщение, транзисторы T_2 и T_3 открываются, коллекторный переход T_4 и Д закрыты, при этом T_3 переходит в режим насыщения и $U_{вых}=U_{кэн},=U_0$. Втекающий ток источника питания обеспечивает прямой ток светодиода, заряжая емкость C(v) через конечное сопротивление цепи заряда состоящего из сопротивления ограничительного резистора R_c и объемного сопротивление R_S, что сопровождается броском тока и потерями электрической энергии.

В момент окончания информационного сообщения ток базы T_1 протекает через открытые эмиттерные переходы предыдущего ЛЭ, транзисторы T_2 и T_3 закрываются. Напряжение на коллекторе T_2 составляет: $U_{к2}=U_{cc} – I_{б4}R_4$, что достаточно для того, чтобы открыть транзистор T_4 и диод Д. На выходе ЛЭ $U_{вых}=U_{к2} – U_{бэТ4} – U_д = U_{cc} – 2U_{бэн} = U^1_{вых}$, прямой ток светодиода минимальный и недостаточный для его возбуждения. Емкость C(v) разряжается через открытый транзистор T_4 и конечное сопротивление цепи разряда, образуемого элементами выходного каскада ЛЭ, также вызывая бросок тока и потери энергии.

Для СОИ, работающей в динамическом режиме возбуждения ИЭ, когда переключение сигналов управления проходит с постоянной частотой, динамическая рассеиваемая мощность определяется как $P=F*C*V^2cc$, где C - емкость нагрузки, F - частота цикла заряд – разряд емкости нагрузки, V^2cc - зарядное напряжение на емкости.

Как видно из анализа, потери мощности пропорциональны величине емкости нагрузки и зависят от числа ИЭ формирующих сообщение, типа применяемых в светодиодах полупроводниковых материалов. Так для светодиодов на основе GaP зеленого цвета емкость составляет 15 пФ, а на основе GaAlAs - 45 пФ [2]. Такие потери мощности выходных цепей характерны как для схем на ТТЛ, так и КМОП ЛЭ. Микросхемы КМОП серии в статическом режиме практически не потребляют электрической энергии. Однако при работе в динамическом режиме с тактовой частотой 1-2 МГц потребляемая ими мощность становится сравнимой с мощностью потребляемой маломощными ТТЛШ семействами К555 и К1533.

Использование мультипликативной (перекрестной) схемы управления с динамическим методом синтеза ИМ на ИП значительно эффективнее поликомпараторных схем управления на базе ИМС К1003ПП1, К1003ПП2, К1003ПП3 и их зарубежных аналогов UAA180, A277D.

Мультипликативная схема определяет необходимость формирования в двух группах шин матрицы соответствующих электрических сигналов в зависимости от применяемого типа ИЭ. Их применение существенно сокращает потребление энергии схемой преобразования кода информационного сообщения, который реализует оператор ψ_D в соответствии с выражением (1.1). Для построения мультипликативных схем управления широко применяются преобразователи кода на базе ТТЛ и ТТЛШ логики [3]. Для управления ПШИ разработаны схемы управления 155ИД11, 155ИД12, 155ИД13, имеющие выходной каскад с открытым эмиттером и ограничительным резистором, включенным в коллекторную цепь выходного транзистора. Это обеспечивает достаточный прямой ток для непосредственного подключения светодиодов между выходами ИМС и общим проводом схемы. Для управления единичными светодиодами наиболее часто используются выходные каскады с открытым коллектором (555ИД10), обеспечивающие прямой ток светодиода $I_{пр}$ до 80 мА.

Суммарная рассеиваемая мощность устройства формирования сигналов управления будет зависеть от числа ИЭ на линейной сборке шкалы, числа выходных каскадов ЛЭ, применяемых в схеме управления, числа последовательно соединенных индикаторов для формирования шкалы и количества ИЭ в отдельном индикаторе. Поэтому использование параметра $P_\Sigma(\nu)$ для сопоставления эффективности технических решений ИМ оказывается не достаточно информативным, поскольку в этом случае имеется существенная зависимость мощности от конкретного типа ЛЭ в схеме формирования сигналов управления и параметров ИЭ.

2. Оценка эффективности формирования информационной модели

Анализ КПД формирования визуальных образов сообщений, под которым понимается отношение мощности, потребляемой самим индикатором для возбуждения используемой ИМ $S\nu_{BG}$, к общей мощности, которая требуется для функционирования системы отображения информации (СОИ) в целом, определяется как:

$$\eta(\nu) = \frac{P_S(\nu)}{P_\Sigma(\nu)} = \frac{P_S(\nu)}{P_D(\nu) + P_E(\nu) + P_S(\nu)}, \quad (1.4)$$

где $\eta(\nu)$ – КПД синтеза сообщения $S\nu$ на ИП СОИ.

Количество шин в группах может быть неодинаковым. В результате техническая реализация формирователей сигналов управления индикатором по группам шин шкалы ИЭ оказывается различной, что обуславливает проведение независимого анализа потребления энергии этими блоками.

$$P_E(\nu) = P_{EH}(\nu) + P_{EL}(\nu), \quad (1.5)$$

где $P_{EH}(\nu)$, $P_{EL}(\nu)$ - мощности, потребляемые формирователями электрических сигналов управления группами шин старших и младших разрядов матрицы ЭОП.

Мультипликативные схемы управления с динамическим методом синтеза ИМ существенно сокращают потребление энергии схемой преобразования кода информационного сообщения, который реализует оператор ψ_D в соответствии с выражением (3).

Проведем анализ эффективности схем ДА УОИ с различными ИМ представления сообщений, для которых выполняется неравенства $P_D << P_E < P_S$. В результате выражение (1.4) с учетом (1.5) можно представить как:

$$\eta(\nu) = \frac{P_S(\nu)}{P_S(\nu) + P_{EH}(\nu) + P_{EL}(\nu)}, \quad (1.6)$$

Основным электрическим параметром, связанным с функционированием блоков, которые определяют КПД в соответствии с выражением (1.6), является выходной вытекающий ток $I_{вых}$, составляющий десятки миллиампер (табл. 1.1) при практически неизменном напряжении. Как правило, эти блоки подключаются к одному источнику питания, поэтому целесообразно получить искомую зависимость, как функцию токов. Переходя к выражению мощностей через соответствующие токи, полагаем, что аппаратурное формирование сигналов возбуждения для обеих групп шин шкалы светодиодов является независимым. Тогда выражение (1.6) для динамического *r* - тактного режима примет вид:

$$\eta(\nu)=\frac{I_S}{I_S+\frac{1}{r}\sum_{j=1}^{r}(I_{ELj}(\nu)+I_{EHj}(\nu))}, \quad (1.7)$$

где I_S - среднее значение прямого тока через ИЭ за период регенерации ***ν***-го символа;

$I_{ELj}(\nu)$ и $I_{EHj}(\nu)$ - соответственно амплитудные значения тока управления ШФ сигналов для групп шин младших и старших разрядов шкалы в *j*-й такт формирования ***ν***-го символа $S_{\nu BG}$; $j = 1, r$.

Полученное выражение (1.7) позволяет оценить КПД формирователей визуальных образов в СОИ на основе светодиодной шкалы, построенных на базе схем преобразователей кода и работающих в динамическом режиме. Схемам с высоким КПД присущи минимальные температурные потери элементов, более высокая экономичность и надежность в эксплуатации. Для практических целей выражение (1.7) необходимо конкретизировать с учетом используемой ИМ, а также схемотехнических решений построения схем преобразования кодов сообщений, схем формирования сигналов управления и типом излучающих элементов светодиодной шкалы.

Оценим энергетические параметры схем формирователей сигналов управления ИЭ светодиодной шкалы, синтезирующих аддитивную ИМ за два такта, путем разбиения линейной шкалы ИЭ на группы по младшим разрядам согласно модели:

$$S_{\nu BG}\Leftrightarrow \tilde{A}^{D}_{\nu BG}=\left[\tilde{A}^{1}_{\nu BG}\cup\tilde{A}^{2}_{\nu BG}\right]_{T_S}=\left[\tilde{A}^{D12}_{\nu BG}\cup\tilde{A}^{22}_{\nu BG}\right]_{T_S}, \quad (2.1)$$

Для заданного алгоритма формирования ИМ среднее значение прямого тока через индикатор за период синтеза символа $S_{\nu BG}$ равно $I_S = \nu I_0$, где I_0 - среднее значение прямого тока через один ИЭ. Тогда, исходя из выражения (1.7), КПД устройства при двухтактном $r = 2$ формировании изображения на шкале принимает вид:

$$\eta(\nu)=\frac{\nu I_S}{\nu I_0+\frac{1}{2}[I_{EL1}(\nu)+I_{EH1}(\nu)+I_{EL2}(\nu)+I_{EH2}(\nu)]}, \quad (2.2)$$

В рассматриваемой реализации индикатор представляет собой многополюсник с *m* × *n* выводами, а блок, создающий электрические сигналы управления группами шин шкалы СИД, содержит *m* шинный формирователь (ШФ) младших разрядов и *n* ШФ старших разрядов.

Наиболее эффективные схемотехнические решения этих узлов строятся на основе комплементарных транзисторов, которые и определяют энергопотребление $P_{EL}(\nu)$ и $P_{EH}(\nu)$ СОИ в целом[5].

Токи управления каждым из ШФ младших I_{EL0} и старших I_{EH0} разрядов, которые возбуждают в двухтактном режиме соответственно *n* и *m* ИЭ с сохранением средней яркости за период T_S, могут быть представлены как

$$I_{EL0}=\frac{2nI_0}{\beta_L};\quad I_{EH0}=\frac{2mI_0}{\beta_H}, \quad (2.3)$$

где β_L и β_H, соответственно, коэффициенты усиления по току транзисторов в ШФ младших и старших разрядов.

Исходя из ИМ, получим амплитудные значения токов управления формирователями сигналов для групп шин младших и старших разрядов матрицы СИД в каждом из тактов формирования изображения на ИЭ:

$$I_{EL1}=I_{EL0}\left[\nu-mE(\frac{\nu}{m})\right];$$

$$I_{EL2}=I_{EL0}\left[m-\nu+mE(\frac{\nu}{m})\right]; \quad (2.4)$$

$$I_{EH1}=I_{EH0}\left[E(\frac{\nu}{m})+1\right];\quad I_{EH2}=I_{EH0}E(\frac{\nu}{m});$$

В результате КПД схемы формирования ИМ с динамической двухтактной моделью, представленной выражением (1.1), для каждого ***ν***-го отображаемого символа из их общего числа ***p*** может быть получен путем подстановки в формулу (2.3) соотношений (2.5) и (2.4)[5, 6]:

$$\eta(\nu)=\frac{\nu}{\nu+\frac{mn}{\beta_L}+\frac{m}{\beta_H}[2E(\frac{\nu}{m})+1]}, \quad (2.5)$$

Значения локальных экстремумов для случая, когда коэффициенты усиления по току транзисторов ШФ равны друг другу, могут быть оценены следующими выражениями:

$$\eta_{L\min}(w)=\frac{w}{w+\frac{n}{\beta_L}+\frac{2m+1}{\beta_H}}\Bigg|_{\beta_L=\beta_H=\beta}=\frac{\beta}{\beta+2+\frac{n+1}{w}},\quad(2.6)$$

$$\eta_{L\max}(w)=\frac{w}{w+\frac{n}{\beta_L}+\frac{2m-1}{\beta_H}}\Bigg|_{\beta_L=\beta_H=\beta}=\frac{\beta}{\beta+2+\frac{n-1}{w}}$$

Как видно из выражения (2.5), характерной особенностью реализации ИМ является монотонное увеличение КПД в пределах области значений, для которой w=E(ν×m)= const.

Минимум КПД определяется как:

$$\eta_{\min}=\frac{1}{1+\frac{mn}{\beta_L}+\frac{m}{\beta_H}}\Bigg|_{\beta_L=\beta_H=\beta}=\frac{\beta}{\beta+m(n+1)},\quad(2.7)$$

и имеет место при условии ν = 1. В пределах 1 ≤ν ≤ m, с увеличением ***ν*** наблюдается интенсивный рост КПД, а в области p/2 ≤ν ≤ p его значение изменяется незначительно в пределах:

от

$$\eta\left(\frac{p}{2}\right)=\frac{1}{1+2\left(\frac{1}{\beta_L}+\frac{1}{\beta_H}\right)}\Bigg|_{\beta_L=\beta_H=\beta}=\frac{\beta}{\beta+4},\quad(2.8)$$

до максимальной величины при ***ν=p***

$$\eta_{\max}=\frac{1}{1+\frac{1}{\beta_L}+\frac{2}{\beta_H}}\Bigg|_{\beta_L=\beta_H=\beta}=\frac{\beta}{\beta+3},\quad(2.9)$$

что получено в предположении наиболее часто встречающихся на практике значений 5 ≤ n ≤15.

На рисунке 2 приведена зависимость КПД ДА схемы формирования аддитивной ИМ представления информации как функция отображаемой величины, рассчитанная в системе Origin6.1[7], с использованием выражения (2.5), при $\beta_L=\beta_H=20$ для светодиодной шкалы с m×n = 10×10.

Для малого количества ИЭ (20-30) наблюдается увеличение η(ν) с постепенным выходом кривой на насыщение при **ν** более 40-50 элементов. Выражение (2.5) позволяет оценить КПД формирования на ИП светодиодной шкалы каждого отдельно взятого символа Sν из их *p*-элементного множества, образующего ИМ. Поэтому *η(ν)* является наиболее информативным параметром, с помощью которого можно анализировать и сопоставлять эффективность различных ИМ. Как видно из графика, полученная функция *η(ν)*, определённая на целочисленном аргументе ***ν***, имеет локальные экстремумы. Минимумы этой функции $\eta_{l\min}$ наблюдаются при ν=mE(ν/m), то есть при значениях аргумента, которые кратны количеству элементов в группах светодиодов: при ν = w×m, где $w=\overline{1,n}$. Локальные максимумы $\eta_{l\max}$ располагаются в точках ν = (w×m −1).

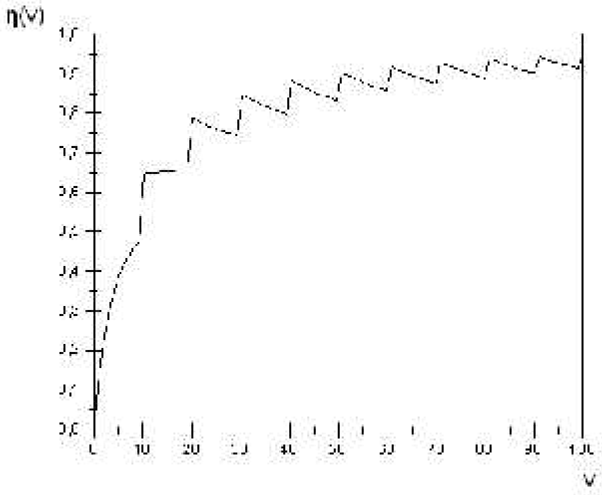

Рис. 2. КПД схемы формирования аддитивной ИМ при $\beta_L=\beta_H=20$ на шкале светодиодов со структурою m×n = 10×10

В реальных условиях эксплуатации СОИ затраты энергии на отображение информации определяются не только КПД возбуждения отдельных символов Sν на шкале, а и вероятностью P_ν появления соответствующего кодового слова Cν ⇔ Sν во входном потоке сообщений $F_0(t)$.

При выводе на индикатор динамических данных КПД устройства определяется соотношением

$$\eta_F=\sum_{\nu=1}^{mn}P_\nu\,\eta(\nu)\quad(2.10)$$

Такой подход очень эффективен при исследовании и оптимизации параметров схемы управления светодиодной шкалой как в общем виде так и для конкретных эксплуатационных условий. В случае равномерного закона распределения P_ν, когда любой из символов Sν появляется на ИП с вероятностью P_ν =1/ mn , выражение (2.5) с учетом (2.10) принимает вид [5]

$$\eta_F=\frac{1}{mn}\sum_{\nu=1}^{mn}\frac{\nu}{\nu+\frac{mn}{\beta_L}+\frac{m}{\beta_H}\left[2E\left(\frac{\nu}{m}\right)+1\right]},\quad(2.11)$$

Анализ выражения (2.11) показывает, что для конкретной ИМ величина КПД при отображении потока сообщений η_F зависит только от размеров шкалы индикатора m× n и внутренних параметров используемых транзисторов β_L, β_H.

Для оценки влияния параметров шинных формирователей на КПД двухтактного аддитивного представления информации выполнены расчеты η_F с использованием выражения (2.11) для матрицы $m \times n = 10 \times 10$ и вариации параметров β_L и β_H. Полученные результаты представлены на рисунке 3, из которого видно, что рост КПД зависит от коэффициентов усиления по току транзисторов ШФ.

Наиболее существенный рост $\eta_F(\beta)$ имеет место при условии, когда коэффициенты усиления транзисторов, управляющих младшими и старшими разрядами, близки друг другу. При этом несколько большее влияние на его повышение оказывает увеличение коэффициентов усиления транзисторов, на которых реализованы формирователи сигналов управления младшими разрядами светодиодной шкалы. Использование хотя бы одной из групп транзисторов с низкими значениями β резко снижает эффективность всего устройства в целом. Использование наиболее распространенных транзисторов с β=25-40 при равновероятном появлении любого визуального символа $S\nu$ позволяет получить КПД ДА СОИ с аддитивной ИМ представления данных на уровне η_F=0,8-0,86 [5].

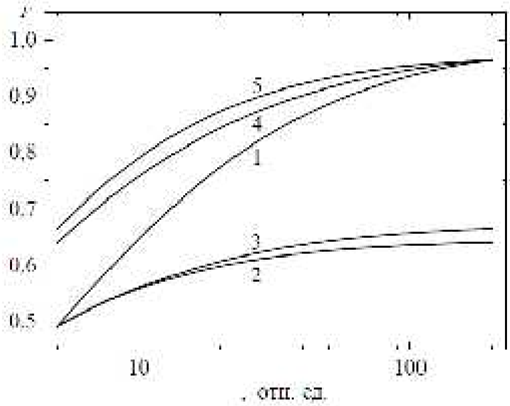

Рис. 3. Зависимость КПД устройства формирования аддитивной ИМ от коэффициентов усиления по току транзисторов ШФ

$$1 - \eta_F = f(\beta = \beta_L = \beta_H);$$
$$2 - \eta_F = f(\beta = \beta_H) при\ \beta_L = 5;$$
$$3 - \eta_F = f(\beta = \beta_L) при\ \beta_H = 5;$$
$$4 - \eta_F = f(\beta = \beta_L) при\ \beta_H = 20;$$
$$5 - \eta_F = f(\beta = \beta_H) при\ \beta_L = 200.$$

Рассмотренная методика исследования КПД ДА отображения информации дает возможность оценить энергетические характеристики индикаторных устройств в динамическом режиме на основе их ИМ. Это формирует аналитическую базу для оптимизации параметров элементов конструкции оптоэлектронных СОИ, выбора температурного режима реальных изделий, что обеспечивает повышение их эксплуатационной надежности и эффективности

3. Сравнение энергетической эффективности информационных моделей светодиодных шкал

Часто на практике возникает необходимость сравнения параметров СОИ, использующих различные алгоритмы формирования символов на ИП. Сопоставление затрат энергии при различных алгоритмах формирования изображения на шкале целесообразно проводить исходя из мощности $P_E(\nu)$, затрачиваемой на формирование электрических сигналов управления ИЭ, поскольку для любого динамического способа возбуждения светодиода значение $P_S(\nu)$, соответствующее мощности, преобразуемой в оптический сигнал, будет практически неизменным при равном количестве тактов за период регенерации визуального образа на индикаторе. Поэтому для сопоставления функциональных реализаций при выполнение неравенства $P_D << P_E < P_S$ можно использовать соотношение [5]

$$K_{PR} = \frac{P_{E1}(\nu)}{P_{E2}(\nu)}, \qquad (3.1)$$

где K_{PR} - отношение мощностей, необходимых для создания электрических сигналов управления СОИ на основе светодиодной шкалы; $P_{E1}(\nu)$, $P_{E2}(\nu)$ - потребление энергии блоками, которые формируют электрические сигналы управления шкалой в анализируемых технических решениях.

При двухкоординатном матричном электрическом соединении излучателей, которое используется при создании многоэлементных СОИ, управление осуществляется путем формирования импульсных втекающих и вытекающих токов возбуждения в соответствующих группах шин линейки светодиодов, что описывается оператором ψ_E в выражении (1.1). Количество шин в группах может быть различным. Вследствие этого в аппаратурной реализации необходимо применять две группы различных ШФ сигналов, что обуславливает проведение независимого анализа потребления энергии этими блоками и использование аналитического представления (1.5). Значения мощностей $P_{EL}(\nu)$ и $P_{EH}(\nu)$в этом выражении могут быть получены исходя из логико-временного описания алгоритма возбуждения шкалы светодиодов, которая выполнена в виде n групп из m элементов.

Двухтактный синтез изображения на шкале предполагает, что множество ИЭ $\tilde{A}^{M}_{\nu\_BG}$, подлежащих возбуждению для синтеза символа $S_{\nu BG}$, разделяется на два непересекающихся подмножества, которые включаются с помощью СУ попеременно. При двухтактном синтезе изображения на ДА индикаторе мощность расходуется на попеременное возбуждение в течение полупериода одного из двух непересекающихся подмножеств излучателей a_{xy}. Поэтому для любой из двух исследуемых ИМ затраты мощности могут быть представлены как:

$$P_E(\neg)=\frac{1}{2}\left[P_{EL}^{T1}(\neg)+P_{EH}^{T1}(\neg)+P_{EL}^{T2}(\neg)+P_{EH}^{T2}(\neg)\right], \quad (3.2)$$

где верхние индексы Т1 и Т2 соответствуют первому и второму тактам возбуждения ИЭ.

Все светодиоды шкалы используют общий источник питания, а возбуждение этого типа ИЭ определяется средним значением протекающего тока. Найдем зависимость $P_E(\neg)$ от величины прямого тока светодиода. Переходя к выражению мощностей через соответствующие значения прямого тока, полагаем, что аппаратурное формирование сигналов возбуждения для обеих групп шин шкалы ИЭ является независимым. В результате выражение (3.1) с учетом (3.2) будет иметь вид:

$$K_{PR}=\frac{I_{EL2}^{T1}(\neg)+I_{EH2}^{T1}(\neg)+I_{EL2}^{T2}(\neg)+I_{EH2}^{T2}(\neg)}{I_{EL1}^{T1}(\neg)+I_{EH1}^{T1}(\neg)+I_{EL1}^{T2}(\neg)+I_{EH1}^{T2}(\neg)}, \quad (3.3)$$

где $I_{ELj}^{Tr}(\neg)$, $I_{EHj}^{Tr}(\neg)$ - амплитудные значения тока управления формирователями электрических сигналов для коммутации шин младших и старших разрядов шкалы светодиодов *j*-го функционального решения в ***r***-й такт синтеза ν-го символа S_{ν}□BG, причем, $j=1\vee 2$ и $r=1\vee 2$.

Исходя из модели с разделением ИЭ по младшим разрядам, описанной выражением (2.1), получим амплитудные значения токов управления формирователями электрических сигналов, которые используются для коммутации шин младших и старших разрядов шкалы светодиодов в каждый из двух тактов. Для синтеза изображения путем выделения двух подмножеств ИЭ по младшим разрядам шкалы, воспользовавшись выражением (2.4) имеем:

$$I_{EL1}^{T1}(\neg)=I_{EL0}\left[\neg-mE(\frac{\neg}{m})\right];\ I_{EL1}^{T2}(\neg)=I_{EL0}\left[m-\neg+mE(\frac{\neg}{m})\right]; \quad (3.4)$$

$$I_{EH1}^{T1}(\neg)=I_{EH0}\left[E(\frac{\neg}{m})+1\right];\ I_{EH1}^{T2}(\neg)=I_{EH0}E(\frac{\neg}{m}).$$

Для ИМ, с разделением ИЭ по старшим разрядам, можно записать:

$$I_{EL2}^{T1}(\neg)=I_{EL0}m;\ I_{EL2}^{T2}(\neg)=I_{EL0}\left[\neg-mE(\frac{\neg}{m})\right]; \quad (3.5)$$

$$I_{EH2}^{T1}(\neg)=I_{EH0}\left[E(\frac{\neg}{m})\right];\ I_{EH2}^{T2}(\neg)=I_{EH0}.$$

Тогда отношение мощностей, которые необходимы для формирования сигналов возбуждения ИЭ при реализации этих видов ИМ исходя из выражения (3.3) с учетом (3.4), (3.5), может быть представлено в виде [5]:

$$K_{PR}=\frac{n\frac{H}{L}\left[\frac{\neg}{m}-E(\frac{\neg}{m})+1\right]+E(\frac{\neg}{m})+1}{n\frac{H}{L}+2E(\frac{\neg}{m})+1}, \quad (3.6)$$

Анализ этого выражения показывает, что функция $K_{PR}(\nu)$ определена для целочисленного аргумента ν и имеет локальные экстремумы. Минимумы этой функции $K_{PR1\min}$ наблюдаются при $\neg=mE(\frac{\neg}{m})$, то есть при значениях аргумента, которые кратны количеству элементов в группах шкалы светодиодов: при ν = *wm*, где $w=\overline{1..n}$. Локальные максимумы $K_{PR1\max}$ располагаются в смежных точках ν = *wm* −1. Величина $K_{PR}(\nu)$ зависит от соотношения коэффициентов усиления по току транзисторов ШФ младших и старших разрядов $\frac{H}{L}$. При условии $\frac{H}{L}=1$ для локальных минимумов, исходя из выражения (3.6), можно записать как:

$$K_{PR1\min}\Big|_{\frac{H}{L}=1}=1-\frac{w}{n+2w+1}, \quad (3.7)$$

Для локальных максимумов функции $K_{PR}(\nu)$ шкалы со структурою m=*n* можно получить:

$$K_{PR1\min}\Big|_{\frac{H}{L}=1}=1-\frac{n-w}{n+2w+1}, \quad (3.8)$$

Как видно из формул, характерной особенностью поведения функции $K_{PR}(\nu)$ является монотонное увеличение ее значений в пределах области, для которой $w=mE(\frac{\neg}{m})=const$.

При формировании символа с максимальным значением весовой функции, что соответствует $\nu_{\max}$ = *mn* = *p*, $K_{PR}(\nu)$ имеет минимальную величину, которая равна

$$K_{PR1\min}\Big|_{\frac{H}{L}=1} = \frac{2n-1}{3n+1}, \qquad (3.9)$$

Для многоэлементных ШИ (при p>50) можно считать, что $K_{PRmin}(v)$=0,67.

Максимального значения, которое равно

$$K_{PR1\min}\Big|_{\frac{H}{L}=1} = \frac{2n}{n+1}, \qquad (3.10)$$

функция достигает при ν = m −1 в предположении использования шкалы с $m = n$.

Полученное выражение (3.6) позволяет сопоставить по энергетической эффективности алгоритмы формирования на ИП изображений каждого отдельно взятого символа Sν из их p-элементного множества, образующего ИМ индикатора. Поэтому K_{PR} является наиболее информативным параметром, с помощью которого можно анализировать характеристики и сопоставлять различные принципы построения ШИУ.

В реальных условиях эксплуатации затраты энергии в ШИУ на отображение информации определяются не только электрической мощностью, необходимой для синтеза изображения каждого из формируемых на ИП символов $S_{\nu BG}$, а и вероятностью P_ν появления во входном потоке соответствующих данных Cν: Cν ⟺ $S\nu_{BG}$. Поэтому при выводе на ШИ потока случайных сообщений сопоставление ИМ с помощью $K_{PR}(v)$ следует проводить с учетом статистических параметров последовательности Cν. Тогда для оценки можно использовать интегральную величину отношения мощностей K_{PRI}, необходимых для формирования сигналов управления шкалой на основе СИД [6],

$$K_{PRI} = \sum_{\neg}^{mn} p_{\neg} K_{PR}(\neg). \qquad (3.11)$$

Отсюда следует, что критерием оптимальности алгоритма формирования ИМ и ее схемы управления можно считать интегральную величину отношения затраченных мощностей K_{PRI} при возбуждении ИЭ светодиодной шкалы.

Выводы

Предложенная методика исследования ИМ шкального отображения данных дает возможность оценить и сопоставить энергетические характеристики индикаторных устройств в динамическом режиме на основе анализа алгоритмов синтеза изображений на ИП. В результате формируется аналитическая база для оптимизации параметров оптоэлектронных СОИ, элементов конструкции ИМ и приборных решений, для минимизации нагрева реальных изделий, повышения их экономичности и эксплуатационной надежности. Критерием оптимальности информационной модели и схемы ее формирования предложено считать интегральную величину отношения мощностей K_{PRI}, необходимых для формирования электрических сигналов управления ИЭ шкалы.

Список литературы

1. *Яблонский Ф. М., Троицкий Ю. В. Средства отображения информации. -М.:Высш. школа, 1985. -200с.*
2. *Джонсон,Говард В., Грэхем,Мартин. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств.: Пер.с англ.-М.:Изд.дом "Вильямс",2006.-624с.*
3. *Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги: Справочник. Том 2./А.В. Нефедов. - М.:ИП РадиоСофт, 1998г. - 640с.:ил.*
4. *А.В.Бушма, Г.А.Сукач, В.Л.Булгач, С.В.Беляков, В.П.Ярцев. Модели многотактного формирования шкального представления сообщений на матричном информационном поле.//Вісник Державного університету інформаційно-комуникаційних технологій.20003.Т.1,№1.С.31-35.*
5. *Бушма А.В., Сукач Г.А. Оптимизация энергопотребления светодиодных шкальных индикаторных устройств // Измерительная техника. - 2005. -№ 6. - С. 42 - 46.*
6. *Бушма А.В. Затраты энергии на индикацию как критерий выбора принципов построения шкальных устройств вывода информации // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. -2006. -№ 3.-С. 14-18.*
7. *А.А.Богданов. Визуализация данных в MicroCal Origin. - Спб.: 2003. – 238 с.*

Поступила в редколлегию 12.12.2013

Рецензент: д.т.н., проф. Толюпа С.В., Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВИХ ФОРМ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПОВІДОМЛЕНЬ НА СВІТЛОДІОДНІЙ ШКАЛІ

А.В. Бушма, В.П. Ярцев

Запропонована та аналітично обґрунтована методика оцінки енергетичної ефективності інформаційних моделей і оптимізації апаратурних рішень пристроїв із дискретно-аналоговою формою представлення даних на светодиодній шкалі.

Ключові слова: *ефективність інформаційної моделі, дискретно-аналоговий пристрій, світлодіодна шкала, коефіцієнт корисної дії, розсіювана потужність.*

METHODS ESTIMATION TO EFFICIENCY INFORMATION MODELS DISCRETE-ANALOG FORMS PRESENTATION MESSAGES ON SVETODIODNOY SCALE

A.V.Bushma, V.P. Yartsev

Offered and methodology of estimation of power efficiency of informative models and optimization of apparatus decisions of devices is analytically reasonable with the discretely-analog form of presentation of data of the LED bar.

Keywords: *efficiency to information model, discrete-analog device, LED scale, coefficient of efficiency, diffused power.*