

УДК 621.397.46

ЭЛЕКТРОННАЯ АРХИТЕКТУРА LCoS МИКРОДИСПЛЕЯ ДЛЯ ВИДЕОПРОЕКЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ПЕРСОНАЛЬНОГО ТИПА

А.С. МОХАММЕД, А.Г. СМИРНОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 1 октября 2014

Разработана электронная архитектура полноцветных LCoS микродисплеев SVGA формата для видеопроекционных устройств персонального типа. Основное внимание уделено вопросам выбора наиболее эффективных методов независимой адресации каждого пикселя, реализации шкалы серого (полутонов), а также формированию полноцветного изображения требуемого разрешения.

Ключевые слова: микродисплей, электронная архитектура, видео-проекционное устройство персонального типа.

Введение

Микродисплеи – это микроминиатюрные комбинированные электронно-оптические устройства отображения текстовой, графической и видеоинформации. В настоящее время наблюдается большой интерес к микродисплейной технике в связи с тем, что начиная с конца 2013 г. крупнейшие корпорации мира Google, Microsoft, Samsung и др. начали промышленное производство различных вариантов «умных очков» и мобильных устройств телекоммуникации на их основе. Несмотря на то, что дистанция наблюдения в таких видеопроекционных устройствах составляет всего 1–2 сантиметра, изображение воспринимается глазом человека как «виртуальное», соответствующее полноэкранному изображению 40-дюймового экрана телевизора с расстояния нескольких метров. Несомненно, что функциональность «умных очков» определяется используемым программным обеспечением, однако их потребительские свойства зависят, в первую очередь, от параметров и характеристик применяемых в них микродисплеев. В данной статье подробно описаны вопросы, связанные с выбором оптимальной электронной архитектуры наиболее применяемых в настоящее время микродисплеев, выполненных по технологии LCoS (Liquid-Crystal-on-Silicon) SVGA формата (800×600 пикселей).

Индивидуальная адресация пикселей

В общем случае, для микродисплеев вид индивидуальной адресации выбирается в зависимости от числа электрических подключений, необходимых для эффективной независимой адресации пикселей [1]. Сегодня могут использоваться 3 метода адресации:

Прямая адресация подразумевает индивидуально управляемое электрическое подключение к каждому элементу отображения (электроду) с помощью металлической шины и, следовательно, применима главным образом для дисплеев с небольшим общим числом пикселей, например, семи сегментного или малоформатного матричного дисплея. При этом дисплеи, которым для работы необходим противоэлектрод (например, жидкокристаллические LCD или органические OLED), обладают преимуществом при прямой адресации, которое проявляется в том, что противоэлектрод может быть сплошным – нет необходимости

конфигурировать его на пиксельном уровне, т.е. исключается операция фотолитографии. Дисплей, состоящий из $M \times N$ пикселей, управляемый по методу прямой адресации, требует $(M \times N) + 1$ выводов по внешнему периметру (по одному на каждый пиксель плюс противоэлектрод). Это означает, что в нашем случае, при $M = 800$ и $N = 600$ для SVGA-формата изображения размером, например, 15×10 мм шаг внешних выводов составит менее 2 мкм, что технологически не реализуемо.

Пассивно-матричная адресация используется для микродисплеев матричного типа, в которых матрица пикселей представляет собой простую прямоугольную повторяющуюся конфигурацию и требует моделирования как верхнего, так и нижнего уровня электродов. Все пиксели каждого столбца и каждой строки соединены проводящими дорожками, формируемыми на 2 уровнях (рис. 1).

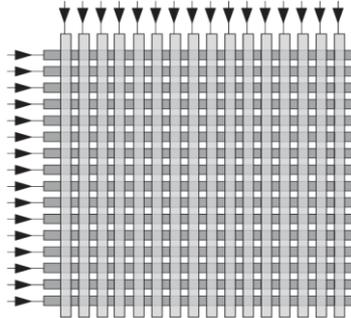


Рис. 1. Схематическое изображение структуры пассивно-матричного микродисплея

Таким образом, дисплей, состоящий из M столбцов и N строк, то есть содержащий $M \times N$ пикселей, требует только $M + N$ выводов, M из которых расположено обычно на одной (скажем, нижней) подложке, а N – на другой. Существенное ограничение пассивно-матричной адресации состоит в том, что обращение к каждой строке должно осуществляться за время, которое не превышает $1/N$ от общего времени смены данных на дисплее, т.е. верхний предел рабочего цикла по частоте равен $1/N$. Адресация методом двойного сканирования, при которой верхняя половина дисплея управляется сверху, а нижняя половина – снизу, увеличивает указанное время до $2/N$. Более того, практически невозможно контролировать емкостную перекрестную наводку между проводящими дорожками, соединяющими пиксели [2].

Активно-матричная адресация выбрана авторами для LCoS микродисплеев матричного типа высокого разрешения, поскольку совокупность пикселей имеет простую прямоугольную повторяющуюся конфигурацию и требует модулирования только электродов одного уровня за счет добавления переключающего и запоминающего элемента в каждом пикселе (по сути ячейка динамического ОЗУ из МОП-транзистора, формируемого на кремниевом чипе и работающими в ключевом режиме совместно с конденсатором (рис. 2) [3].

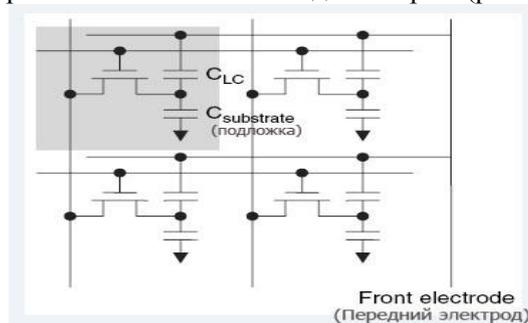


Рис. 2. Схематическое изображение структуры активно-матричного микродисплея

Формирование шкалы серого

Выбранный для реализации шкалы серого (полутонов) метод в значительной степени определяет электронную архитектуру LCoS микродисплея.

Формирование полутонов (или уровней яркости) можно обеспечить за счет одного или комбинацией различных методов. Конструкция LCoS микродисплея, по сути, характеризуемого

аналоговым электрооптическим откликом, позволяет создать непрерывный диапазон уровней серого или фиксированное число дискретных уровней серого в зависимости от точности управления амплитудой электронного сигнала управления, как непрерывно изменяемого, так и дискретного. Уровни серого могут также восприниматься в двоичной системе, содержащей только электрооптический отклик типа «On/Off» («Включен/Выключен»), посредством пространственной сегментации некоторой области пикселей на субпиксели или субпиксельные участки равного размера, или же на субпиксели, относительный размер которых взвешен двоично. В первом случае количество 2^n одинаковых субпикселей приводит к 2^n уровням серого, или n -битной шкале серого. В последнем случае количество n двоично-взвешенных субпикселей достаточно для получения 2^n уровней серого, или n -битной шкале серого. Устройства, работающие в двоичном режиме, а также устройства с двумя устойчивыми состояниями, позволяют воспроизводить непрерывную или дискретную шкалу серого посредством управления:

- а) шириной одиночного импульса света фиксированной выходной амплитуды из каждого пикселя за время периода кадровой развертки (Single Pulse Width Modulation);
- б) состоянием последовательности сходных одиночных импульсов из каждого пикселя за время периода кадровой развертки (Pulse Count Modulation или Count-based Pulse Width Modulation);
- в) состоянием «On/Off» («Включен/Выключен») последовательности двоично-взвешенных во времени одиночных импульсов света из каждого пикселя за время периода кадровой развертки (Binary-Weighted Pulse Coded Modulation или Binary-coded Pulse Width Modulation) [3].

Формирование полноцветного изображения

Метод, выбранный авторами для формирования полноцветного изображения, также в значительной степени определяет электронную архитектуру LCoS микродисплея. Проанализированы несколько вариантов.

Пространственно-разделенная RGB-конфигурация светофильтров. Содержит отдельные (красный, зеленый и синий) субпиксели (рис. 3, а) и позволяет использовать одномодульный вариант. Стандартным приемом, который позволяет реализовать данную возможность в жидкокристаллических дисплеях прямого наблюдения, является подсветка белым светом с красным, зеленым и синим фильтрами, которые закрывают каждый из трех субпикселей.

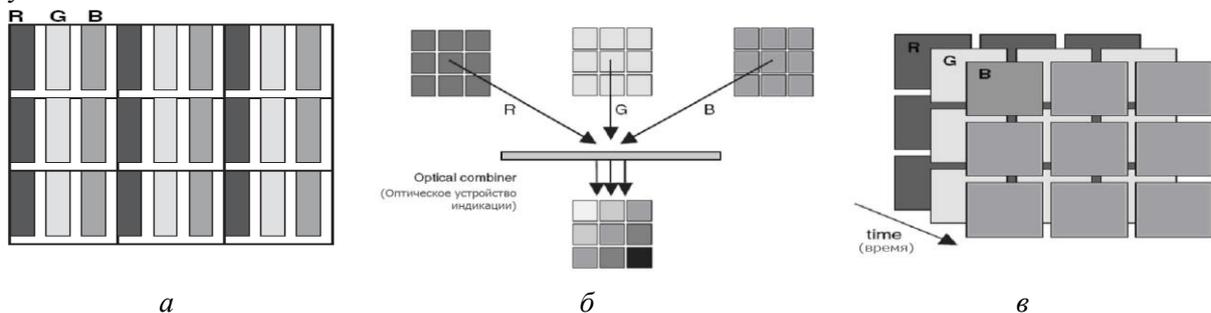


Рис. 3. Общие компоновочные схемы LCoS микродисплеев в одномодульном (а, в) и трехмодульном исполнении (б)

Трехмодульный метод использует три одинаковых монохромных LCoS микродисплея, в которых пиксели пространственно не разделены на субпиксели и каждый микродисплей передает одно основное цветовое поле с увеличенным в 3 раза разрешением (рис. 3, б).

Технология последовательной передачи цветов (Field-sequential-color) основана на отображении в быстрой последовательности трех субкадров – красного, зеленого и синего, содержащих необходимую информацию для составления полноцветного изображения. Если цикл смены трех составляющих изображения сделать достаточно быстрым, то глаз в силу определенной инерционности увидит только это изображение, а не его отдельные компоненты. В LCoS микродисплеях для реализации подобной технологии необходима активно-матричная

панель, в которой пиксели не разделены на субпиксели. Матрица пикселей электрическим путем получает и оптическим передает последовательно один за другим информацию, которую содержат каждый из трех основных цветов. Данные цветного изображения разделяются на три основных цветовых поля – красное, зеленое и синее. Красное, зеленое и синие поля изображения последовательно отображаются на микродисплее (рис. 3, в), при этом соответствующая подсветка происходит в строго синхронизированном порядке.

При сравнении достоинств и недостатков перечисленных методов, установлено, что наиболее рациональным является выбор третьего варианта, несмотря на то, что время адресации кадра уменьшается в 3 раза.

Электронная архитектура SXGA LCoS микродисплея

Разработанная электронная архитектура LCoS микродисплея SXGA формата представлена на рис. 4. Ее основные особенности: кремниевый чип принимает аналоговые видеоданные, строки управляются с обоих краев, причем управление осуществляется с инверсией столбцов, при которой высокий и низкий уровни видеосигнала подаются на четные и нечетные столбцы соответственно. Данные высокого уровня всегда обрабатываются с «северной» части матрицы, а низкие – с «южной».

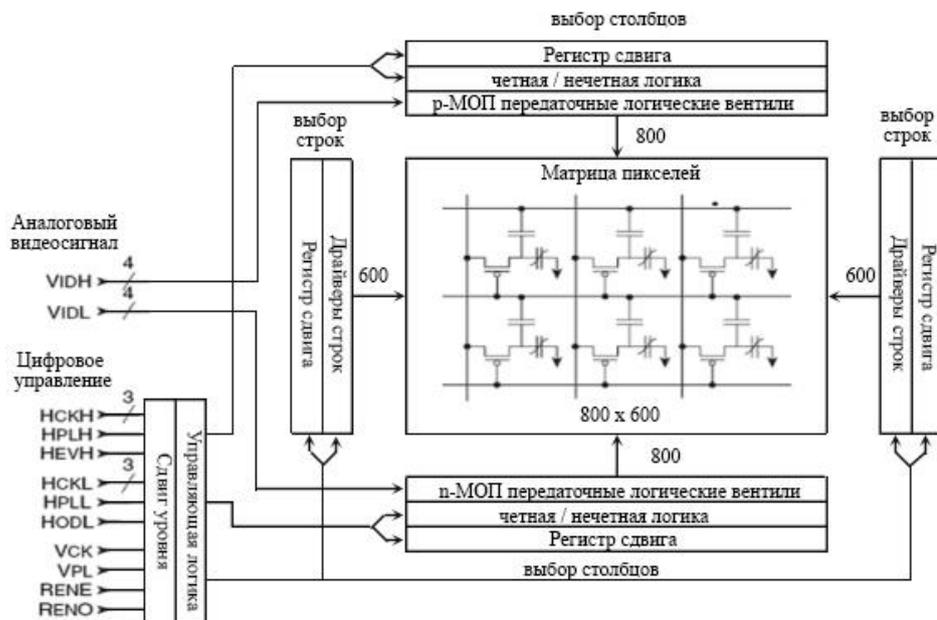


Рис. 4. Электронная архитектура LCoS-микродисплея с разрешением 800×600

Последовательно поступающие данные необходимо распределить и сохранить в каскаде 1 каждой ячейки формирователя столбцов, пока не будут собраны и сохранены данные для всех столбцов. Затем данные всех столбцов одновременно передаются из каскада 1 в каскад 2. Данный двухкаскадный подход позволяет полностью записать данные в строку j , в то время как происходит сбор данных строки $j+1$. С помощью устройства формирования столбцов матрицы принимаемые, хранимые и передаваемые данные могут быть полностью аналоговыми, цифровыми (одноразрядными или многоразрядными) или могут подвергаться преобразованию (наиболее часто распространенный вариант – преобразование цифровых многоразрядных данных в аналоговый формат). В действительности, в случае преобразования данных из цифровых в аналоговые, наиболее вероятно применение одного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) на некоторое число столбцов. Точное согласование цифро-аналоговых преобразователей является критичным, поскольку любое несоответствие может вызвать заметную вертикальную сегментацию изображения.

Средняя скорость передачи данных $D_{ср}$, требуемая для управления полноцветным микродисплеем, составляет $3MNF$, где F – частота смены кадров, $3MN$ – число точек (в предположении, что M – это столбцы, N – строки и три субпикселя RGB на цветной пиксель).

Пиковая скорость передачи данных может быть значительно выше, чем рассчитанная по этой формуле, т.к. данные могут передаваться дважды для достижения уравнивания по постоянному току в системе LCoS, или же рабочий цикл передачи данных может быть менее 100 %. В последнем случае это происходит в системах, в которых, например, электронная адресация должна прерываться во время периодов стабилизации жидкого кристалла. Высокая скорость передачи данных, разработанная для таких приложений, как телевидение высокой четкости (HDTV), подразумевает значительный параллелизм и хранение, а также непрерывность на микродисплейном уровне, особенно для систем с последовательной передачей цветов.

Заключение

Проведено обоснование и осуществлен выбор метода адресации LCoS микродисплеев для видеопроекционного устройства персонального типа. Показано, что использование активно-матричной адресации обеспечивает формирование изображения требуемого качества без существенного усложнения электронной части устройства. Установлено, что для реализации шкалы серого и полноцветного изображения LCoS микродисплеев необходимо использовать метод последовательного формирования цветных полей, что обеспечивает упрощение конструкции и снижение стоимости LCoS микродисплеев.

Разработана электронная архитектура LCoS микродисплея SVGA формата для видеопроекционного устройства персонального типа с использованием возможности интеграции строчных и столбцовых драйверов на кремниевом чипе.

ELECTRONIC ARCHITECTURE OF LCoS MICRODISPLAYS FOR PERSONAL VIDEOPROJECTORS

A.S. MOHAMMED, A.G. SMIRNOV

Abstract

The electronic architecture of LCoS microdisplays including addressing scheme, methods of gray scale and full color images formation is described.

Список литературы

1. *Smirnov A., Mohammed Abubakar Saddiq* // Матер. 19-го междунар. симпозиума «Перспективные технологии дисплеев и полупроводниковой осветительной техники». Логойск, март, 2011. С. 170–182.
2. *Мохаммед А.С., Муха Е.В., Степанов А.А. и др.* // Докл. БГУИР. 2014. № 4 (82). С. 29–34
3. *Смирнов А.Г.* Матрицы активных элементов для управления высокоинформативными жидкокристаллическими дисплеями. Минск, 2002.

UDC 621.397.46

ELECTRONIC ARCHITECTURE OF LCoS MICRODISPLAYS FOR PERSONAL VIDEOPROJECTORS

A.S. MOHAMMED, A.G. SMIRNOV

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
P. Brovki, 6, Minsk, 220013, Belarus*

Received on October 1, 2014

The electronic architecture of full-color LCoS microdisplays of SVGA format for personal videoprojectors has been developed. The main attention is paid to the selection of the most effective methods for independent addressing of each pixel, the gray scale (halftones) implementation, as well as the formation of a full-color image of the required resolution.

Keywords: microdisplay, electronic architecture, personal videoprojectors.

Introduction

Microdisplays are micro-miniature combined electron-optical devices for displaying text, graphic and video information. There is currently great interest in microdisplay technology as the world's largest corporations Google, Microsoft, Samsung and others have begun commercial production of various versions of "smart glasses" and mobile telecommunication devices based on them since late 2013. Despite the fact that the viewing distance in such video projection devices is only 1-2 centimeters, the image is perceived by the human eye as "virtual", corresponding to the full-screen image of a 40-inch television screen from a distance of several meters. Undoubtedly, the functionality of "smart glasses" is determined by the software used, but their consumer properties depend primarily on the parameters and characteristics of the microdisplays used in them. This article describes in detail the issues related to selection of optimal electronic architecture of the most currently used microdisplays made on LCoS (Liquid-Crystal-on-Silicon) technology of SVGA format (800x600 pixels).

Individual pixel addressing

In general, for microdisplays the type of individual addressing is chosen according to the number of electrical connections required for efficient independent pixel addressing [1]. Today 3 addressing methods can be used:

Direct addressing involves an individually controlled electrical connection to each display element (electrode) by means of a metal run and is therefore mainly applicable to displays with a small total number of pixels, for example, a seven-segment or small matrix display. However, displays, requiring a counter electrode for operation (for example, LCDs or OLEDs), have the direct addressing advantage that the counter electrode can be solid - there is no need to configure it at the pixel level, i.e. a photolithography operation is eliminated. A display consisting of $M \times N$ pixels, controlled by direct addressing, requires $(M \times N) + 1$ pins on the outer perimeter (one per pixel plus a counter electrode). This means that in our case, with $M = 800$ and $N = 600$ for an SVGA image format, for example, 15*10 mm, the pitch of the external pins would be less than 2 μm , which is not technologically feasible.

Passive-matrix addressing is used for matrix microdisplays in which the pixel matrix is a simple rectangular repeating configuration and requires modelling of both the top and bottom electrode levels. All pixels of each column and each row are connected by conductive tracks formed on 2 levels (Figure 1).

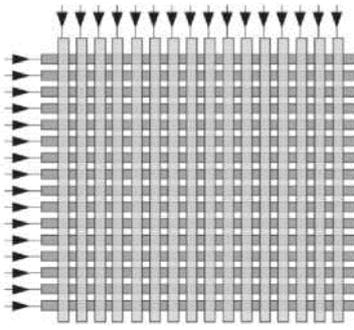


Figure 1. Schematic representation of the structure of a passive-matrix microdisplay

Thus, a display consisting of M columns and N rows, i.e. containing $M \times N$ pixels, requires only $M+N$ pins, M of which are usually located on one (bottom) substrate, and N on the other. A significant limitation of passive-matrix addressing is that each row must be accessed in a time that is less than $1/N$ of the total display cycle time, i.e., an upper limit of $1/N$. Double-scan addressing, where the upper half of the display is controlled from above and the bottom half from below, increases the specified time to $2/N$. Moreover, it is almost impossible to control the capacitive crosstalk between the conductive tracks connecting the pixels [2].

Active-matrix addressing was chosen by the authors for high-resolution matrix LCoS microdisplays, since the set of pixels has a simple rectangular repeating configuration and requires modulation of only electrodes of the same level by adding a switching and storage element in each pixel (essentially a dynamic RAM cell from a MOS transistor formed by on a silicon chip and operating in a key mode together with a capacitor (Fig. 2) [3].

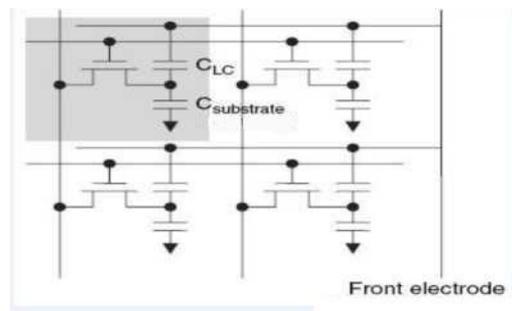


Figure 2. Schematic representation of the structure of an active-matrix microdisplay

Gray scale shaping

The method chosen to implement the greyscale (halftone) method largely determines the electronic architecture of the LCoS microdisplay.

The formation of halftones (or luminance levels) can be achieved by one or a combination of different methods. The LCoS microdisplay design, essentially characterized by an analogue electro-optical response, allows a continuous range of grey levels or a fixed number of discrete grey levels depending on the control precision of the electronic control signal amplitude, either continuously variable or discrete. Grey levels can also be perceived in a binary system containing only an *On/Off* electro-optical response by spatially segmenting some pixel area into sub-pixels or sub-pixels of equal size, or into sub-pixels, the relative size of which is weighted binary. In the former case, the number of 2^n identical subpixels results in 2^n gray levels, or n -bit gray scale. In the latter case, the number of n binary-weighted subpixels is sufficient to produce 2^n gray levels, or n -bit gray scale. Devices operating in binary mode, as well as devices with two stable states, make it possible to reproduce continuous or discrete grey scale by means of control:

- a) by the width of a single pulse of light of a fixed output amplitude from each pixel during the frame period (Single Pulse Width Modulation);
- b) the state of a sequence of similar single pulses from each pixel during the frame period (Pulse Count Modulation or Count-Based Pulse Width Modulation);
- c) *On/Off* status of a sequence of binary time-weighted single pulses of light from each pixel during the frame period (Binary-Weighted Pulse Coded Modulation or Binary-Coded Pulse Width Modulation). [3].

Formation of a full color image

The method chosen by the authors for forming a full color image also largely determines the electronic architecture of the LCoS microdisplay. Several options have been analyzed.

Spatially separated RGB configuration of the light filters. It contains separate (red, green and blue) sub-pixels (Figure 3, a) and allows a single-module option. The standard technique that enables this capability in

direct-view liquid crystal displays is to illuminate white light with red, green and blue filters covering each of the three subpixels.

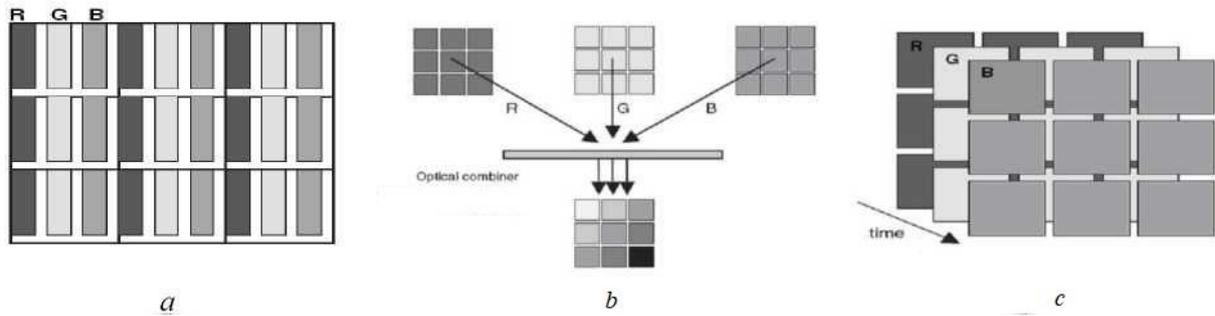


Figure 3. General layout diagrams of LCoS microdisplays in single-module (a, c) and three-module (b) versions

Three-module method uses three identical monochrome LCoS microdisplays in which the pixels are not spatially separated into subpixels and each microdisplay transmits a single primary color field with 3 times the resolution (Fig. 3, b).

Field-sequential-color technology is based on the display of three sub-frames of red, green and blue in quick succession, containing the information necessary to compose a full color image. If the cycle of changing of the three components of the image is fast enough, the eye, due to a certain inertia, will only see this image and not its individual components. In LCoS microdisplays such a technology requires an active matrix panel in which the pixels are not divided into subpixels. The pixel matrix electrically receives and optically transmits, one after the other, the information that each of the three primary colors contains. The color image data is divided into three main color fields - red, green and blue. The red, green and blue image fields are sequentially displayed on the microdisplay (Figure 3, c), with the corresponding backlighting occurring in a strictly synchronized order.

When comparing the advantages and disadvantages of the listed methods, it is found that the third option is the most rational, despite the fact that the frame addressing time is reduced by 3 times.

SXGA LCoS microdisplay electronic architecture

The developed electronic architecture of the LCoS SXGA microdisplay is shown in Figure 4. Its main features: the silicon chip receives analogue video data, the rows are controlled from both edges, with column inversion, whereby the high and low video levels are applied to the even and odd columns respectively. High-level data is always processed from the “north” side of the matrix, and low-level data from the “south” one.

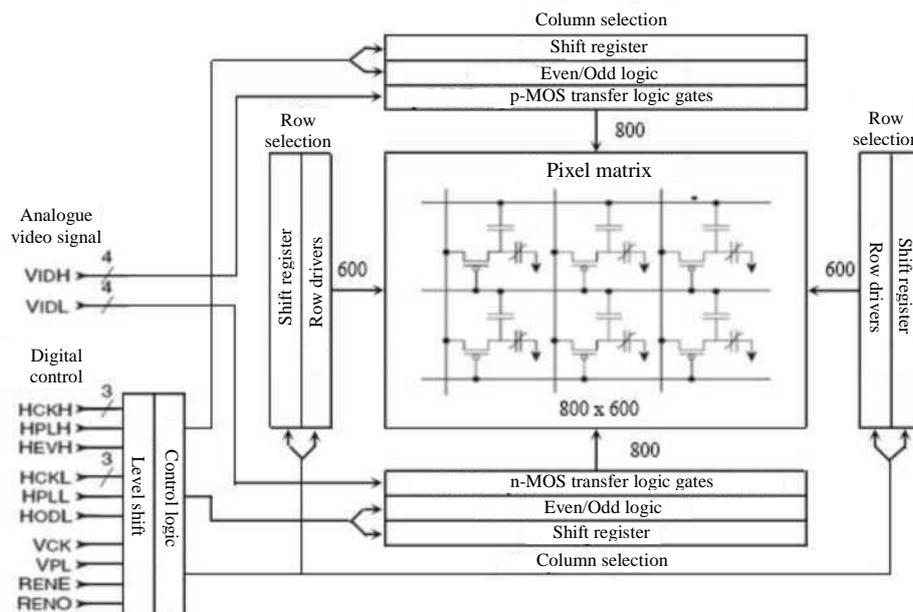


Figure 4. Electronic LCoS microdisplay architecture with 800x600 resolution

The consecutive incoming data must be allocated and stored in cascade 1 of each cell of the column shaper until the data for all columns has been collected and stored. The data for all columns is then simultaneously transferred from cascade 1 to cascade 2. This two-cascade approach allows data to be fully written to row j while the data of row $j+1$ is being collected. With a matrix column-forming device, the data received, stored and transmitted can be fully analogue, digital (single or multi-digit) or it can undergo a conversion (the most common

option is to convert digital multi-digit data to analogue format). In fact, when converting data from digital to analogue, a single digital-to-analogue converter (DAC) per some number of columns is most likely to be used. Accurate matching of the digital-to-analogue converters is critical because any mismatch can cause noticeable vertical segmentation of the image.

The average bit rate D_{av} required to drive a full color microdisplay is $3MN$ F, where F is the frame rate and $3MN$ is the number of dots (assuming that M are columns, N are rows and three RGB subpixels per color pixel). The peak data transfer rate may be significantly higher than that calculated using this formula, as the data may be transferred twice to achieve DC equilibration in an LCoS system, or the data transfer duty cycle may be less than 100%. In the latter case, this occurs in systems in which, for example, electronic addressing must be interrupted during liquid crystal stabilization periods. The high data rates developed for applications such as high-definition television (HDTV) imply considerable parallelism and storage as well as continuity at the microdisplay level, especially for systems with sequential color transmission.

Conclusion

The substantiation and selection of the LCoS addressing method for microdisplays for a personal videoprojector has been carried out. It is shown that the use of active-matrix addressing ensures the formation of an image of the required quality without significant complication of the electronic part of the device. It has been found that to implement the gray scale and full color images of LCoS microdisplays, it is necessary to use the method of sequential formation of color fields, which simplifies the design and reduces the cost of LCoS microdisplays.

The electronic architecture of an LCoS microdisplay of SVGA format for a personal videoprojector was developed using the possibility of integrating line and column drivers on a silicon chip.

ELECTRONIC ARCHITECTURE OF LCoS MICRODISPLAYS FOR PERSONAL VIDEOPROJECTORS

A.S. MOHAMMED, A.G. SMIRNOV

Abstract

The electronic architecture of LCoS microdisplays including addressing scheme, methods of gray scale and full color images formation is described.

Bibliography

1. *Smirnov A., Mohammed Abubakar Saddiq*// Materials of the 19th international symposium "Promising technologies for displays and semiconductor lighting technology". Logoisk, March, 2011. P. 170-182.
2. *Mohammed A.S., Mukha E.V., Stepanov A.A. and etc.*// BUIR reports. 2014. No. 4 (82). P. 29-34
3. *Smirnov A.G.* Matrices of active elements for controlling highly informative liquid crystal displays. Minsk, 2002.

We, Translation Agency "Manzhur", hereby confirm the accuracy and completeness of the translation from Russian to English of the attached document. We certify the correctness of the translation only. We do not certify the authenticity or content of the original document. This document includes 9 pages.

Kovalionok E., manager



Signed on January 20, 2023 in Minsk

Translation Agency
MANZHUR
UNP 191286509 OKPO 379577675000
49 Nezavisimosti Ave., office 420
Minsk, 220005, Belarus
www.manzhur.by
manzhur@tut.by, manzhur_by@mail.ru
Tel. +375 29 603-81-51 (Viber, WhatsApp)



Translation Agency "Manzhur"

49 Nezavisimosti Ave., office 420, 220005 Minsk,
+375 29 603-81-51 (Viber, Whatsapp, Telegram), +375 33 631-96-58
E-mail: manzhur@tut.by, manzhur_by@mail.ru
www.manzhur.by