

**Александр Одинец**  
г. Минск  
E-mail: [A\\_Odinets@yahoo.co.uk](mailto:A_Odinets@yahoo.co.uk)  
<http://dynamic-lights.narod.ru>

## Программируемое 16-канальное светодинамическое устройство с последовательным интерфейсом

### Аннотация

Программируемое 16-канальное светодинамическое устройство (СДУ) позволяет управлять независимо каждым из 16 элементов гирлянды по трем соединительным линиям последовательного интерфейса. Такое построение СДУ позволяет наращивать число элементов с минимальными аппаратными затратами без увеличения числа проводов, входящих в жгут, и располагать гирлянду на большом удалении от основной платы контроллера. Разнообразие светодинамических эффектов не ограничено и зависит только от воображения пользователя. Специально разработанная программа виртуального симулятора ("Light Effects Reader") позволяет эмулировать работу устройства на экране компьютера, что гарантирует от возможных ошибок, которые могут быть допущены пользователем при разработке управляющего программного кода.

### Общие сведения

Классическое построение светодинамического устройства предусматривает управление каждым световым элементом непосредственным его подключением к основной плате контроллера с помощью отдельного сигнального проводника (не считая "общего" провода), что накладывает ограничения на длину соединительных проводов, особенно при большой потребляемой мощности световых элементов. В таком случае увеличение длины соединительных проводников создает в них большое падение напряжения, что при большом числе световых элементов, создающих большую нагрузку на источник питания, приводит к заметному различию в яркости свечения ламп накаливания. В случае реализации светодинамических эффектов программным способом, число элементов ограничивается разрядностью микросхем памяти, а при использовании "жесткой" логики – сложностью аппаратной части. В первом случае наращивание

числа световых элементов требует применения дополнительных микросхем памяти, а во втором приводит к значительному усложнению схемотехнической части устройства. Кроме того, в таком варианте невозможно управлять большим числом световых элементов, расположенным на большом удалении от основной платы контроллера.

Решением задачи управления набором световых элементов, расположенным на большом расстоянии от основной платы контроллера, является применение последовательного интерфейса между основной платой контроллера и гирляндой световых элементов [1]. Применение КМОП микросхем серии КР1564 (74НСхх) позволяет значительно упростить схемотехнические решения на передающей и приемной сторонах несогласованной длинной линии и управлять независимо каждым из набора световых элементов по линиям последовательного интерфейса, общая длина которых может достигать 100 м. Если требуется еще большая длина соединительной линии, до 300 м и более, необходимо использовать специальные драйверы, увеличивающие времена нарастания и спада фронтов сигнала (т.е. снижающие крутизну) и, тем самым, уменьшающие амплитуду сигнала индуцированной перекрестной помехи.

Помехоустойчивость системы, использующей последовательный интерфейс, зависит от многих факторов: частоты и формы импульсов транслируемого сигнала, времени между изменениями уровней (скважности) импульсов, удельной емкости проводников линии, входящих в жгут, эквивалентного сопротивления линии, а также входного сопротивления приемников сигнала и выходного сопротивления драйверов.

С целью повышения помехоустойчивости, в модернизированном варианте устройства увеличена длительность и, соответственно, уменьшена скважность импульсов синхронизации, что фактически означает увеличение

интервалов времени между изменениями уровней транслируемого сигнала. Теперь скважность определяется периодом выходных импульсов ВЧ-генератора, а не постоянной времени дифференцирующей RC-цепи, как в базовой версии устройства [1] и [2]. Напомним, что скважностью импульса называется отношение периода импульса к его длительности. К примеру, скважности равной 4 соответствует длительность импульса 25 мкс, при периоде 100 мкс. Для формирования импульсов синхронизации регистра использован дешифратор, собранный на элементах DD3.3, DD3.4 (рис. 1). Это позволило "привязать" длительность синхроимпульсов к частоте ВЧ-генератора и легко изменить ее резистором R8. Следует особо подчеркнуть, что момент синхронизации регистров равноудален от моментов смены информации на линии данных (см. временную диаграмму на рис. 2). Это необходимо для полного завершения переходных процессов в линии связи к моменту записи данных и исключения ложного срабатывания регистров.

Эффекты влияния длинных несогласованных линий начинают проявляться, когда времена задержек распространения сигнала вдоль линии и обратно начинают превосходить длительность фронтов нарастания и спада сигнала. Любые несоответствия между эквивалентным сопротивлением линии и входным сопротивлением логического элемента на приемной стороне линии или выходного сопротивления драйвера на передающей стороне приводят к многократному отражению сигнала. Типовое значение времен нарастания и спада фронтов сигнала для микросхем серии КР1564 составляет менее 5 нс, поэтому эффекты влияния длинных несогласованных линий начинают проявляться при ее длине в несколько десятков сантиметров.

Зная характеристики линии передачи, такие как полная входная емкость и удельная емкость на единицу

длины, можно вычислить время задержки распространения сигнала по всей длине линии. Типовое значение времени задержки распространения сигнала обычно составляет 5...10 нс/м. Если длина соединительной линии достаточно велика и длительность фронтов нарастания и спада сигнала достаточно мала (т.е. высока крутизна), несоответствие эквивалентного сопротивления линии и входного сопротивления логического КМОП элемента на приемной стороне создает отражение сигнала, амплитуда которого зависит от мгновенного значения напряжения, приложенного ко входу элемента, и коэффициента отражения, который, в свою очередь, зависит от эквивалентного сопротивления линии и входного сопротивления логического элемента.

Поскольку входное сопротивление элементов микросхем серии КР1564 многократно превосходит эквивалентное сопротивление линии, выполненной витой парой или экранированным проводником, отраженное напряжение на входе приемника удваивается. Этот отраженный сигнал распространяется вдоль линии обратно к передатчику, где он вновь отражается, и процесс повторяется до полного затухания сигнала.

Преимущество микросхем структуры КМОП, благодаря их высокой нагрузочной способности (серии КР1554, КР1564, КР1594), заключается в возможности непосредственно управлять нагрузкой, имеющей емкостной характер. Сбалансированные (симметричные) вольт-амперные передаточные характеристики элементов этих микросхем позволяют получить практически одинаковые времена фронтов нарастания и спада сигнала. Кроме того, для трансляции сигналов в линию и приема можно использовать буферные элементы на основе триггеров Шмитта, которые восстанавливают строго прямоугольную форму искаженного сигнала и, тем самым, исключают ложное срабатывание регистров. Кроме того, наличие гистерезиса на передаточной характеристике (при напряжении питания 5 В для ИС КР1564ТЛ2 это значение составляет примерно 400 мВ) создает дополнительный запас помехоустойчивости [3].

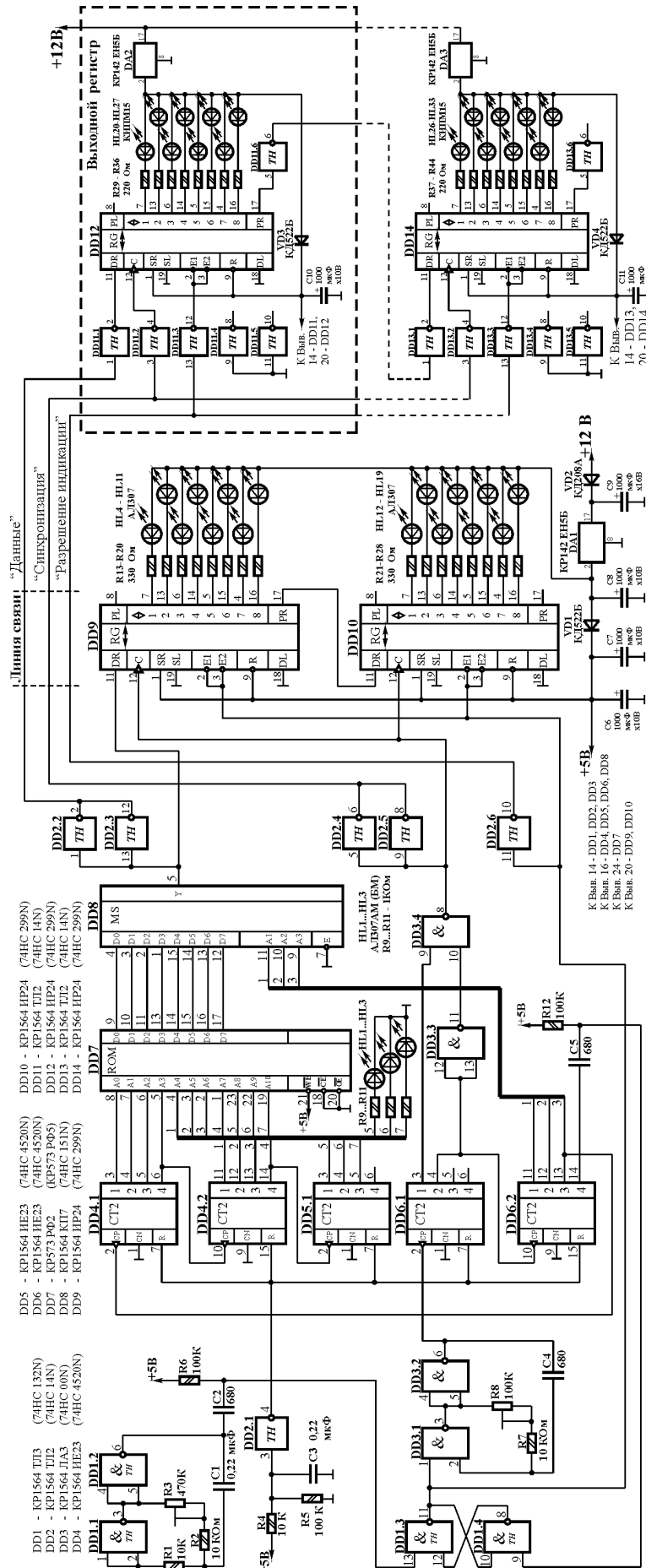


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная

## Принцип работы

При включении питания запускается НЧ-генератор, собранный на элементах DD1.1, DD1.2, с частотой около 10 Гц и далее работает непрерывно. Отрицательный перепад каждого выходного импульса этого генератора через дифференцирующую цепочку C2, R6 воздействует на вход RS-триггера (вывод 13), собранного на элементах DD1.3, DD1.4, устанавливая его в условное единичное состояние. Высокий уровень с выхода (вывод 11 элемента DD1.3 – условно назовем его “прямым”) этого триггера разрешает работу ВЧ-генератора, собранного на элементах DD3.1, DD3.2, который формирует пачку из 64 импульсов, соответствующую передаче 16 бит информации по линии данных последовательного интерфейса. Это приводит к опросу адресных входов мультиплексора DD8 и прохождению с выходов D0...D7 РПЗУ DD7 на его выход информации, записанной по адресам, устанавливаемым последовательно на выходах счетчиков DD4.1, DD4.2, DD5.1.

При подаче питающего напряжения счетчики DD4.1, DD4.2, DD5.1, DD6.1, DD6.2 устанавливаются в нулевое состояние благодаря короткому положительному импульсу, формирующемуся на выходе буферного элемента DD2.1. RS-триггер может установиться с равной вероятностью как в единичное, так и в нулевое состояние. Поскольку частота ВЧ-генератора многократно превосходит частоту НЧ-генератора, то в случае возможной установки RS-триггера в единичное состояние произойдет “несанкционированный” запуск первого генератора и выдача 64 импульсов до момента формирования первого отрицательного перепада на выходе НЧ-генератора (считая с момента включения питания). Но последовательность считывания слов данных, в этом случае, не нарушится, поскольку, благодаря счетчикам DD6.1 и DD6.2 в регистры будет передано именно 16 бит данных, соответствующих первому и второму словам РПЗУ, записанным по “нулевому” (0000h) и “первому” (0001h) адресам соответственно. Затем, уже по отрицательному перепаду правильного выходного импульса НЧ-генератора, санкционирующего запуск ВЧ-генератора, будут считаны и переданы в регистры третье (0002h) и четвертое (0003h), потом

пятое (0004h) и шестое (0005h) слова данных и так далее. В случае установки RS-триггера (при включении питания) в нулевое состояние (на прямом выходе – вывод 11 – уровень нуля) работа ВЧ-генератора будет запрещена и на его выходе (вывод 6 элемента DD3.2) установится уровень нуля. Первым отрицательным перепадом с выхода НЧ-генератора RS-триггер будет установлен в единичное состояние и работа ВЧ-генератора будет разрешена.

Поскольку на входах A1...A3 мультиплексора DD8 в начальный момент времени установлены уровни “нулей”, то на его выход пройдет бит данных с входа D0 (вывод 4). По завершению отрицательного импульса на выходе DD3.4 (вывод 8) этот бит будет записан в первую ячейку регистров DD9, DD12 положительным перепадом на их входах синхронизации “С” (выводы 12). Так как регистры DD9, DD10, DD12, DD14 работают в режиме параллельного сдвига информации вправо, то синхронно с записью бита данных в первый разряд DD9, DD12 произойдет сдвиг содержимого всех разрядов регистров DD9, DD10, DD12, DD14 в направлении возрастания номеров их выходов.

Одновременно уровень логической единицы, установленный на условно прямом выходе RS-триггера (вывод 11 элемента DD1.3), приведет к выключению выходов регистров DD9, DD10, а после инвертирования элементами DD2.6, DD11.3, DD13.3 – и выходов регистров DD12, DD14 на время загрузки текущей светодинамической комбинации. Это необходимо для исключения эффекта мерцания при использовании в качестве светоизлучающих элементов малоинерционных светодиодов.

Спад первого положительного импульса с выхода ВЧ-генератора DD3.1, DD3.2 приведет к увеличению состояния счетчика DD6.1 на единицу. Второй отрицательный перепад с выхода ВЧ-генератора приведет к записи в регистры DD9, DD12 первого бита информации с одновременным сдвигом содержимого разрядов всех регистров в направлении их возрастания. По спаду четвертого импульса произойдет переключение входов D0...D7 мультиплексора DD8 и смена информации на линии данных, благодаря увеличению состояния счетчика DD6.2 на единицу. По

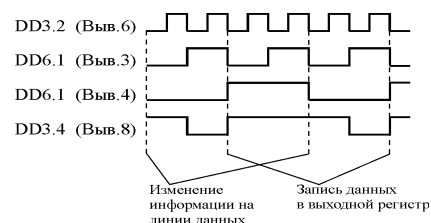
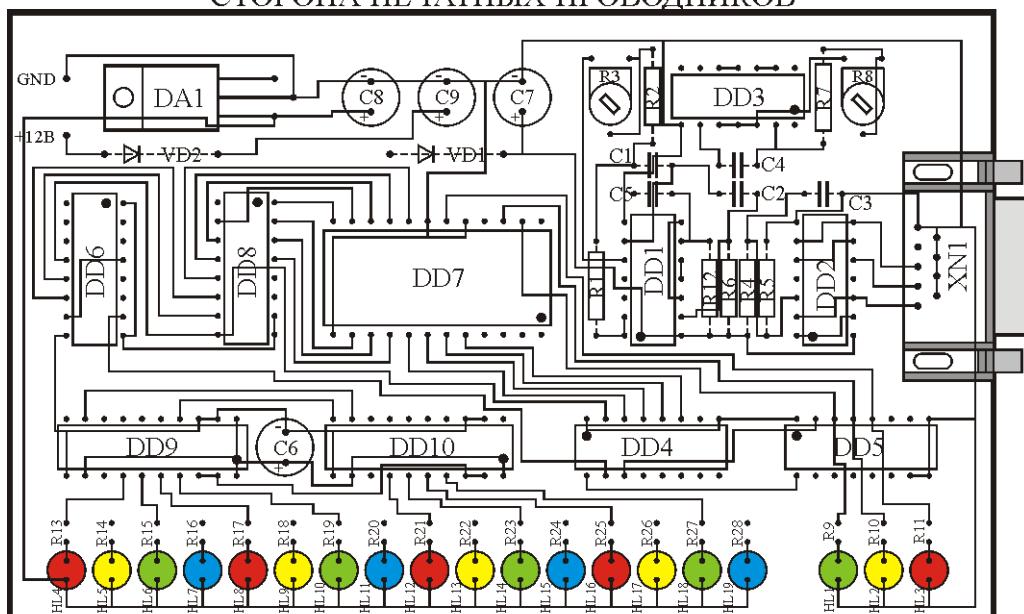


Рис. 2. Временная диаграмма формирования импульсов синхронизации

Рис. 2. Временная диаграмма формирования импульсов синхронизации

спаду 32-го положительного импульса ВЧ-генератора счетчик DD6.2 перейдет в восьмое состояние и на выходе его третьего разряда (вывод 13) будет сформирован отрицательный перепад, означающий завершение формирования очередного положительного импульса на этом выходе счетчика. Этот перепад приведет к увеличению состояния счетчика DD4.1 на единицу и началу считывания второго байта (второй серии из 8-ми бит) информации с выходов D0...D7 ИМС РПЗУ DD7. По спаду 64-го положительного импульса ВЧ-генератора завершится загрузка текущей светодинамической комбинации в регистры DD9, DD10 и DD12, DD14. Одновременно спад 64-го импульса с выхода ВЧ-генератора приведет к появлению отрицательного перепада на четвертом выходе счетчика DD6.2 (вывод 14) и установке RS-триггера в нулевое состояние. На его прямом выходе (вывод 11 элемента DD1.3) будет установлен уровень нуля, который запретит работу ВЧ-генератора. Низкий уровень с прямого выхода RS-триггера также приведет к переключению выходов всех регистров в активное состояние, и текущая светодинамическая комбинация будет отображаться до момента очередного отрицательного перепада на выходе НЧ-генератора. В результате многократного повторения описанной выше процедуры происходит последовательная передача 16-битных пакетов по линии данных последовательного интерфейса и воспроизведение светодинамических комбинаций, записанных в ИМС РПЗУ по двум последовательным адресам. Поскольку время загрузки светодинамических комбинаций в регистры очень мало (0,64 мс при частоте ВЧ-генератора 100 кГц, что выше частоты синхроимпульсов в 4 раза, поскольку на

СТОРОНА ПЕЧАТНЫХ ПРОВОДНИКОВ



СТОРОНА КОМПОНЕНТОВ

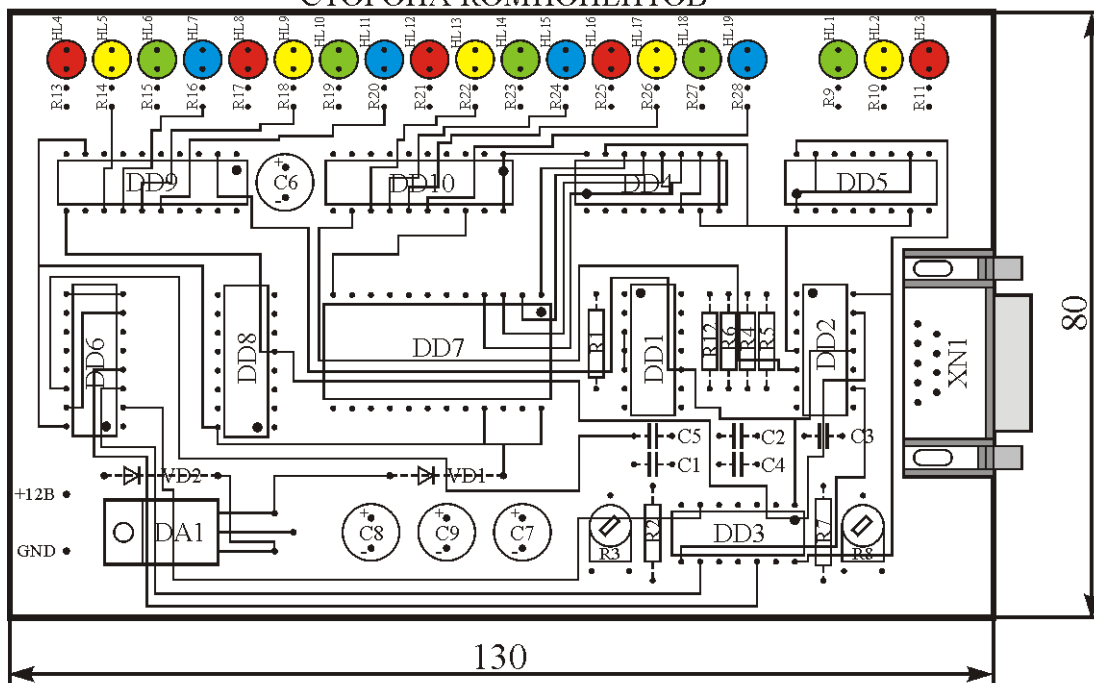


Рис. 3. Топология печатной платы

каждый из них приходится 4 импульса ВЧ-генератора), то смена комбинаций происходит визуально незаметно, а кратковременное переключение выходов регистров в третье состояние, как отмечалось ранее, полностью исключает эффект мерцания даже малоинерционных светодиодов.

**Конструкция и детали**

Контроллер собран на печатной плате из двухстороннего стеклотекстолита

размерами 80x130 мм и толщиной 1,5 мм (рис. 3), а выносные регистры – 25x80 мм [4] и [5].

В устройстве применены постоянные резисторы типа МЛТ-0,125, подстроечные – СПЗ-19, конденсаторы неполярные (C1...C5) типа К10-17, электролитические (C6...C11) – К50-35. На основной плате контроллера установлены светодиоды типа АЛ307АМ (БМ), а в выносной гирлянде – суперяркие четырех цветов КИПМ15 диаметром

10 мм, размещенные в чередующейся последовательности. Учитывая различие в падении напряжения на прямо смещенных светодиодах (для красного и желтого это значение составляет 2,1 В, а для синего и зеленого – 3,0 В), необходимо устанавливать соответствующие ограничительные резисторы: 220 и 150 Ом. Для управления мощными световыми элементами (лампами накаливания) выходные регистры нужно дополнить транзисторными

или симисторными ключами. РПЗУ КР573РФ2 заменяема КР573РФ5. Возможно применение непосредственно на месте РПЗУ микросхемы памяти с электрическим стиранием типа ЭСППЗУ АТ28С16-15Р1 без изменения рисунка печатной платы. Счетчик КР1564 ИЕ23 заменим К561ИЕ10 (кроме ИМС DD5, “нагруженной” светодиодами). Мультиплексор DD6 КР1564КП7 (74НС151N) заменим КР1564КП15 (74НС251N). Благодаря высокой нагрузочной способности микросхем серии КР1564, возможно одновременное использование в одном устройстве микросхем других КМОП-серий КР1554(74АСхх), КР1594(74АСТхх) и ТТЛШ-серий КР1533(74АЛSхх), К555(74LSхх) как на основной плате контроллера, так и в выходных регистрах. Соединительная линия выполняется жгутом из 4 многожильных проводников сечением 0,35 мм<sup>2</sup> (для сигнальных линий) и 1 мм<sup>2</sup> (“общий” провод) в изоляции и заканчивается 9-контактной вилкой типа DB-9. На печатной плате установлен ответный разъем XN1 (на схеме не показан). При длине линии до 10 м частота импульсов ВЧ-генератора соответствует максимальному значению (100 кГц) и движок резистора R8 устанавливается в положение, соответствующее минимальному сопротивлению. Необходимость в этой подстройке может появиться при работе контроллера на линии относительно большой длины и в условиях повышенного уровня шумов.

Применение последовательного интерфейса позволяет наращивать число световых элементов с минимальными аппаратными затратами. Количество элементов гирлянды может достигать нескольких десятков (их удобно увеличивать кратно восьми) без существенного изменения протокола последовательного интерфейса. Необходимо лишь установить требуемое количество регистров и соответственно изменить число тактовых импульсов синхронизации. Естественно, нужно учитывать изменение диапазона адресов РПЗУ, соответствующего одной светодинамической комбинации. Если нужно управлять гирляндой, число элементов которой превышает сотню, придется использовать дополнительные буферные регистры. При этом передача данных в буферные регистры будет производиться

с более низкой тактовой частотой, а в выходные регистры, подключенные к их выходам, данные будут переписываться после завершения цикла передачи данных в буферные. Естественно, при этом потребуется некоторое усложнение протокола.

Подготовка устройства к работе заключается в написании управляющего кода светодинамических эффектов с использованием **табл. 1** по приведенной ниже методике [1] и [2].

В связи с тем, что длина светодинамической комбинации составляет 16 бит, каждой комбинации соответствуют два байта информации в шестнадцатеричном коде.

Из таблицы видно, что одновременному включению всех светодиодов соответствуют две двоичные комбинации “00000000” или две шестнадцатеричные комбинации “00”, считанные по двум последовательным адресам РПЗУ. Соответственно, одновременному выключению всех светодиодов отвечают две загруженные в регистры комбинации “11111111” в двоичном коде или две комбинации “FF” в шестнадцатеричном.

Для примера в **табл. 2** приведен фрагмент кода, соответствующий эффекту “Бегущий огонь”.

Таким образом, последовательность, соответствующая одному эффекту “Бегущий огонь”, в шестнадцатерич-

ном коде будет выглядеть следующим образом: “FF 7F FF BF FF DF FF EF FF F7 FF FB FF FD FF FE 7F FF BF FF DF FF EF FF F7 FF FB FF FD FF FE FF”. Пример кода управляющей программы в виде бинарного файла, который можно использовать для непосредственного программирования РПЗУ средствами стандартного программатора, программа виртуального симулятора (“Light Effects Reader”) доступны по ссылкам [6, 7].

**Таблица 2**

Адрес ячейки РПЗУ: А10-А0	BIN-код на D7-D0	HEX-код
000000 00000	1111 1111	FF
000000 00001	0111 1111	7F
000000 00010	1111 1111	FF
000000 00011	1011 1111	BF
000000 00100	1111 1111	FF
000000 00101	1101 1111	DF
000000 00110	1111 1111	FF
000000 00111	1110 1111	EF
000000 01000	1111 1111	FF
000000 01001	1111 0111	F7
000000 01010	1111 1111	FF
000000 01011	1111 1011	FB
000000 01100	1111 1111	FF
000000 01101	1111 1101	FD
000000 01110	1111 1111	FF
000000 01111	1111 1110	FE
000000 10000	0111 1111	7F
000000 10001	1111 1111	FF
000000 10010	1011 1111	BF
000000 10011	1111 1111	FF
000000 10100	1101 1111	DF
000000 10101	1111 1111	FF
000000 10110	1110 1111	EF
000000 10111	1111 1111	FF
000000 11000	1111 0111	F7
000000 11001	1111 1111	FF
000000 11010	1111 1011	FB
000000 11011	1111 1111	FF
000000 11100	1111 1101	FD
000000 11101	1111 1111	FF
000000 11110	1111 1110	FE
000000 11111	1111 1111	FF

**Таблица 1**

BIN	HEX	BIN	HEX
0000 0000	00	0000 0000	00
0000 0001	01	0001 0000	10
0000 0010	02	0010 0000	20
0000 0011	03	0011 0000	30
0000 0100	04	0100 0000	40
0000 0101	05	0101 0000	50
0000 0110	06	0110 0000	60
0000 0111	07	0111 0000	70
0000 1000	08	1000 0000	80
0000 1001	09	1001 0000	90
0000 1010	0A	1010 0000	A0
0000 1011	0B	1011 0000	B0
0000 1100	0C	1100 0000	C0
0000 1101	0D	1101 0000	D0
0000 1110	0E	1110 0000	E0
0000 1111	0F	1111 0000	F0

Прежде чем запрограммировать микросхему РПЗУ, текстовый файл программы необходимо конвертировать в двоичный формат с помощью соответствующего программного обеспечения. Естественно, при написании программного кода по приведенной методике не исключены ошибки, которые могут быть связаны, например, с невнимательностью разработчика. Как упоминалось выше, с целью гарантировать от записи неправильного кода в РПЗУ, в среде Delphi 7.0 разработана специальная программа ("Light Effects Reader"), позволяющая "просмотреть" сформиро-

ванный бинарный файл перед записью в РПЗУ, т.е. эмулировать работу устройства на экране компьютера. Это позволит избежать возможных ошибок, которые могут быть допущены при разработке программного кода. Данная программа доступна по ссылке [6].

**Внимание!** Данная разработка защищена "**ЗАКОНОМ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ**", действующим на территории Республики Беларусь и стран СНГ. Поэтому несанкционированное коммерческое производство данного устройства, а также применение отдельных

схемотехнических решений и/или уникального алгоритма в составе вновь разрабатываемых коммерческих электронных устройств **ЗАПРЕЩЕНО**. Устройство предназначено только для индивидуального применения с целью оздоровления.

*По всем вопросам, касающимся реализации последовательного интерфейса в светодиодных устройствах можно получить консультацию, направив запрос на адрес электронной почты автора, указанный в начале статьи.*

### Литература и ссылки на ресурсы Интернет

1. Одинец А. Л. Светодиодное устройство с последовательным интерфейсом, – Радиомир, 2003 г., №12, с. 16.
2. [http://art-of-light.narod.ru/RM\\_Article\\_12\\_2003.pdf](http://art-of-light.narod.ru/RM_Article_12_2003.pdf)
3. Зельдин Е. А. Цифровые интегральные микросхемы в информационно-измерительной аппаратуре. – Ленинград. Энергоатомиздат, 1986, с.76-77.
4. Одинец А. Л. Автономное 32-канальное светодиодное устройство с последовательным интерфейсом. – Радиолобитель, 2005 г., №9, с. 6; №10, с. 12.
5. [http://art-of-light.narod.ru/RL\\_Article\\_09\\_2005.pdf](http://art-of-light.narod.ru/RL_Article_09_2005.pdf)
6. <http://art-of-light.narod.ru/LightEffectsReader.rar>
7. <http://www.radioliga.com/Proshivki/LightEffectsReader.rar>

РЛ