

А.ОДИНЕЦ,  
г.Минск.  
E-mail: A\_Odinets@tut.by

## ПРОГРАММИРУЕМОЕ СДУ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

Светодинамические устройства (СДУ) находят широкое применение для оформления баров, дискотек, казино, праздничной иллюминации или световой рекламы. СДУ с программируемыми алгоритмами позволяют получить разнообразные световые эффекты. Такие устройства можно выполнить, например, на одном микроконтроллере и нескольких регистрах, служащих для управления световыми элементами. Несмотря на простоту схемы, микроконтроллерные устройства требуют знания программирования, наличия программатора и компьютера.

Между тем, на микросхемах стандартной логики можно построить полностью автономное многоканальное светодинамическое устройство, не требующее никаких дополнительных средств. Использование в данном устройстве последовательного интерфейса позволяет управлять одновременно несколькими гирляндами из 16 световых элементов по 4 проводам, длина которых может достигать 100 м. Разнообразие светодинамических эффектов не ограничено и зависит только от фантазии пользователя. Предлагаемое 16-канальное СДУ является усовершенствованным вариантом устройства, опубликованного в [1].

Оно построено на КМОП-микросхемах серии КР1564, обладающих высоким быстродействием и помехоустойчивостью, а также низкой потребляемой мощностью.

Связь между основной платой и гирляндами осуществляется жгутом из 4 проводников, включая "общий" провод (при длине линии до 10 м), или жгутом из 7 проводников (при длине от 10 до 100 м). Во втором случае каждый сигнальный проводник представляет собой "витую пару", другой проводник которой заземляется с обеих сторон линии.

Многочисленные отражения сигнала, возникающие в длинных несо-

гласованных линиях, а также взаимные наводки от двух линий в одном жгуте могут привести к ошибкам в передаче данных и сбоям в работе СДУ. Это накладывает ограничения на длину соединительной линии и предъявляет жесткие требования к помехоустойчивости системы, использующей последовательный интерфейс. Помехоустойчивость зависит от многих факторов: частоты и формы импульсов, их скважности, удельной емкости и эквивалентного сопротивления проводников линии, входного сопротивления приемников и выходного сопротивления передатчиков.

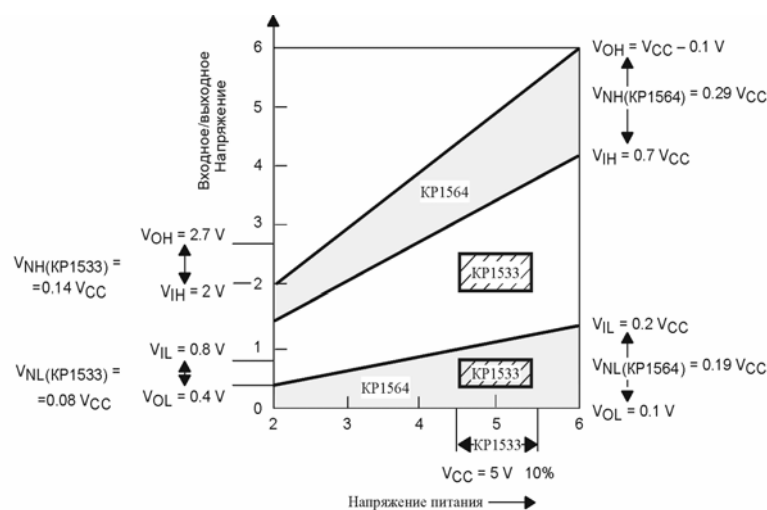
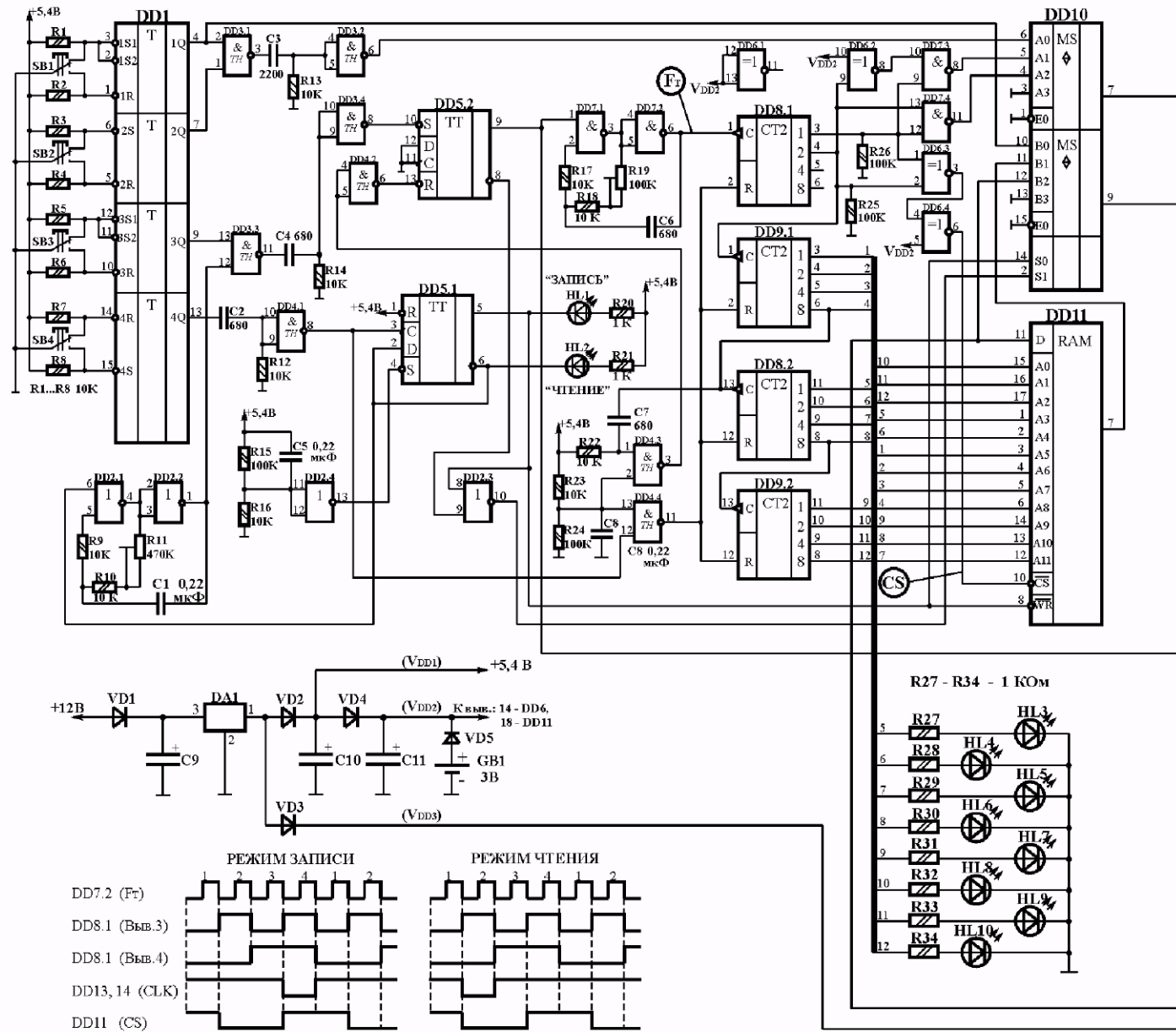


Рис. 1. Помехоустойчивость микросхем серий КР1533 (ТТЛШ) и КР1564 (КМОП)

С целью повышения помехоустойчивости в модернизированном варианте устройства увеличена длительность импульсов синхронизации (при неизменной частоте ВЧ-генератора), что фактически означает увеличение интервалов времени между изменениями уровней транслируемого сигнала. Теперь частота импульсов ВЧ-генератора  $F_{\text{Г}}=100$  кГц соответствует частота импульсов синхронизации  $F_{\text{CLK}}=25$  кГц. Длительность импульсов

синхронизации составляет 10 мкс при длительности периода 40 мкс. Влияние длинных несогласованных линий начинает сказываться, когда времена задержек распространения сигнала вдоль линии и обратно начинают превосходить длительность фронтов сигнала. Несоответствие между эквивалентным сопротивлением линии и входным сопротивлением логического элемента на приемной стороне линии или выход-

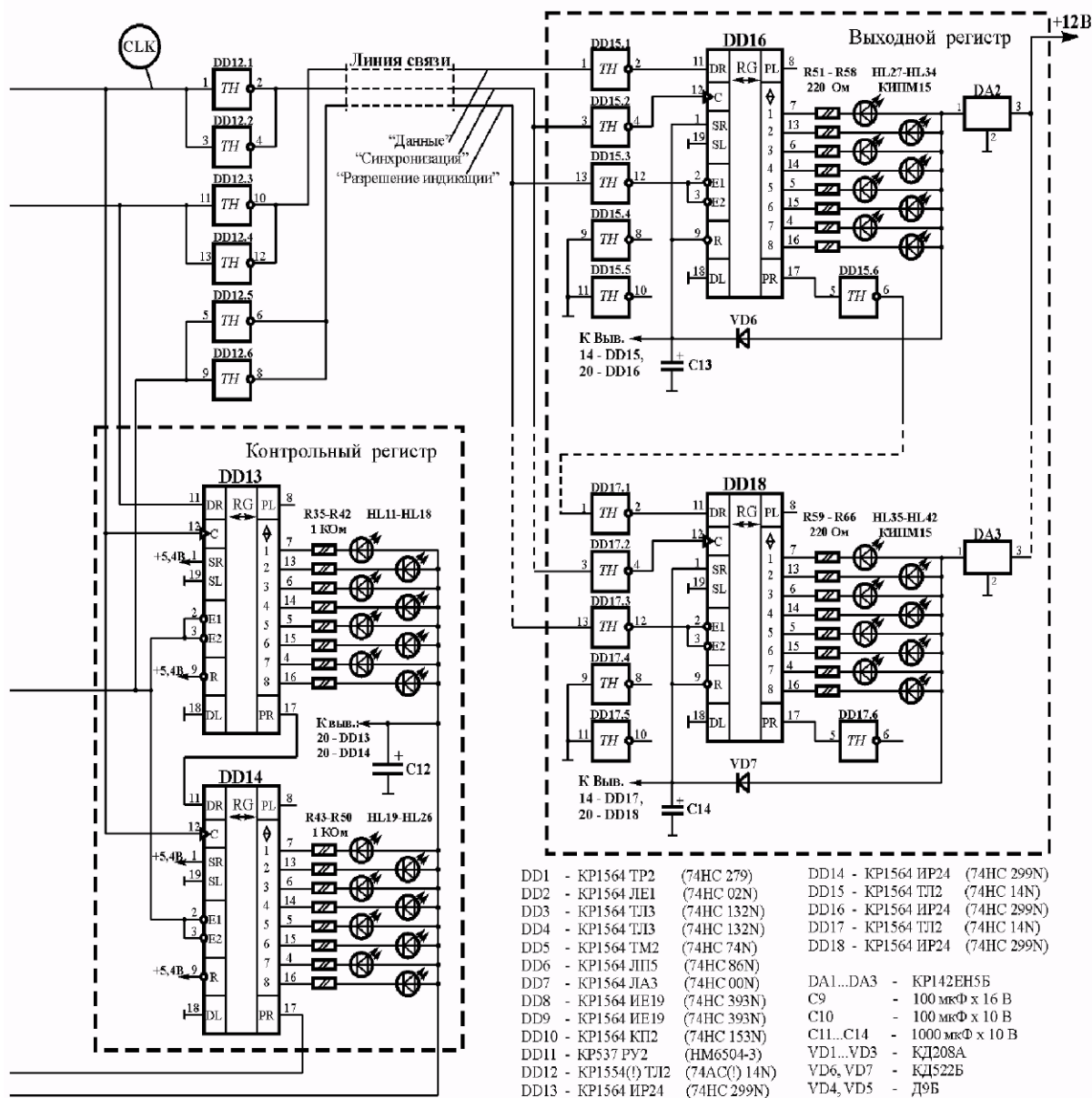
ным сопротивлением драйвера на передающей стороне приводят к многократному отражению сигнала. Типовое значение фронтов сигнала для микросхем серии КР1564 составляет около 5 нс, поэтому указанные эффекты начинают проявляться при длине линий всего 50...60 см (задержка распространения сигнала по линии обычно составляет 5...10 нс/м). Входное сопротивление



элементов микросхем серии КР1564 многократно превосходит эквивалентное сопротивление линии, выполненной витой парой или экранированным проводником, поэтому 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. В микросхемах серии КР1564 на

входах и выходах всех элементов установлены так называемые "защитные диоды", предотвращающие пробой полевых транзисторов микросхем в случае воздействия экстремальных входных токов и напряжений (например, разряда статического электричества). Защитные диоды ограничивают "просечки" сигнала выше уровня питания (overshoot) и ниже уровня "земли" (undershoot). Кроме того, микросхемы серии КР1564 обладают высокой помехоустой-

чивостью. Главным критерием помехоустойчивости является значение порогового напряжения переключения логических элементов. За пороговое напряжение переключения инвертирующего логического элемента принимается такое его значение, при котором на выходе элемента устанавливается напряжение, равное входному. Для микросхем ТТЛШ-структуры (серии КР1533) это значение составляет примерно 1,52 В при напряжении





питания 5 В [2]. Применение таких микросхем в устройствах передачи данных по несогласованным линиям не позволяет получить приемлемую помехоустойчивость даже при работе на линии небольшой длины (5 м). Передаточные характеристики серий КР1533 (ТТЛШ) и КР1564 (КМОП) показаны на рис.1 [2]. Из него видно, что разница пороговых напряжений для КМОП-микросхем значительно больше, чем для микросхем ТТЛШ, причем эта разница становится еще большей с увеличением напряжения питания. Вдобавок, микросхемы КР1564 обладают высокой нагрузочной способностью, что позволяет управлять емкостной нагрузкой.

Схема 16-канального СДУ представлена на рис.2. Устройство содержит два параллельно включенных регистра. Один из них — контрольный, установлен на основной плате устройства. К выходам его микросхем (DD13, DD14) подключены светодиоды, отображающие процесс программирования. Второй (выходной) регистр (DD16, DD18) управляет гирляндами выносных элементов. Оба регистра работают синхронно, но в процессе программирования участвует только первый из них. Загрузка данных в выходной регистр осуществляется по трем сигнальным линиям последовательного интерфейса: "Данные", "Синхронизация" и "Разрешение индикации". Сигнал по третьей линии (вспомогательной) временно отключает выходы ИМС всех регистров на время загрузки текущей комбинации, чтобы исключить мерцание светодиодов. Таким образом, гирлянды выносных элементов подключаются к основной плате устройства четырьмя проводами: "Данные", "Синхронизация", "Разрешение индикации" и "Общий".

Передача данных в регистры производится в течение короткого промежутка времени с тактовой частотой около 25 кГц. Пакеты данных следуют друг за другом с частотой примерно 10 Гц, что приводит к смене светодинамичес-

ких комбинаций. Поскольку время обновления данных в регистрах составляет 0,64 мс, смена комбинаций происходит незаметно для зрителя, что создает эффект непрерывного воспроизведения различных комбинаций.

Программирование устройства производится последовательным нажатием трех кнопок. Комбинация светоизлучающих элементов задается нажатием двух кнопок — SB1 ("Запись 0") и SB2 ("Запись 1"), причем горящему светодиоду соответствует "0". Светодиодная комбинация, записываемая в регистры, после очередного нажатия любой из указанных кнопок сдвигается вправо на один разряд. Запись в ОЗУ сформированной комбинации производится по однократному нажатию кнопки SB3 ("Сохранение комбинации"). При этом автоматически формируется последовательность импульсов, фиксирующая в ОЗУ текущее состояние контрольного регистра.

В устройстве использована ИМС оперативной памяти (ОЗУ) КР537РУ2 статического типа объемом 4К (4096 битов). Объем памяти, соответствующий одной комбинации, составляет 16 битов, а полный цикл формирования светодинамического эффекта, например, "бегущего огня", состоит из 16 комбинаций. Таким образом, объем памяти, занимаемый таким эффектом, составляет  $16 \times 16 = 256$  битов, т.е. одновременно можно записать в ОЗУ  $4096/256 = 16$  эффектов. Для получения еще большего количества эффектов объем памяти можно увеличить до 16К простой заменой ИМС ОЗУ и соответствующим увеличением разрядности адресного счетчика.

Чтобы удвоить число элементов в гирлянде, необходимо в контрольный и выходной регистры ввести еще по две дополнительные микросхемы КР1564ИР24 и включить их аналогично (последовательно). Но при этом необходимо изменить число импульсов синхронизации цикла записи/вос-

произведения, чтобы в контрольный (DD13, DD14) и выходной регистры (DD16, DD18) производилась запись не 16, а 32 битов информации. Для этого верхний (по схеме) вывод конденсатора С7 необходимо подключить к выходу первого (младшего) разряда счетчика DD8.2 (выводу 11). При этом останов ВЧ-генератора на элементах DD7.1, DD7.2 будет происходить после завершения формирования 32 (а не 16) импульсов синхронизации.

На схеме показано подключение одного выходного регистра, состоящего из 4 микросхем (DD15..DD18). Таких выходных регистров, которые при параллельном включении будут работать синхронно, может быть несколько. Общий проводник (на схеме не показан), соединяющий выходной регистр и общий провод основной платы, также входит в состав соединительной линии и должен выполняться проводом сечением не менее  $1 \text{ мм}^2$ .

Устройство содержит:

- схему ввода программы (кнопки SB1...SB3 и три верхних по схеме RS-триггера, входящих в состав микросхемы DD1);
- триггер состояний "Запись/Воспроизведение" и узел индикации (DD5.1, HL1, HL2);
- триггер состояний "Загрузка/Индикация" (DD5.2);
- НЧ-генератор смены светодинамических комбинаций (DD2.1, DD2.2, R9...R11, C1);
- ВЧ-генератор, стробирующий схему формирования импульсов синхронизации (DD7.1, DD7.2, R17...R19, C6);
- формирователь импульсов синхронизации в режимах "Запись/Воспроизведение" (DD8.1, DD6.2, DD7.3, DD7.4);
- формирователь импульсов выборки ОЗУ (DD6.3, DD6.4) и ОЗУ (DD11);
- контрольный регистр (DD13, DD14);
- выходной регистр (DD15...DD18).

(Окончание следует)

А.ОДИНЕЦ,  
г.Минск.  
E-mail: A\_Odinets@tut.by

## ПРОГРАММИРУЕМОЕ СДУ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

(Окончание. Начало в N2/06)

Триггеры Шмитта, входящие в состав микросхем DD15, DD17, служат для приема и восстановления прямоугольной формы сигнала. Они также усиливают сигнал для управления следующими по цепочке микросхемами выходных регистров, что позволяет располагать платы выходных регистров (DD15, DD16 и DD17, DD18) на значительном расстоянии от основной платы и друг от друга. Для трансляции сигналов по длинной несогласованной линии на основной плате используются мощные буферные элементы, которые для увеличения нагрузочной способности включены параллельно по два.

При включении питания автомати-

чески устанавливается режим воспроизведения, который индицируется зеленым светодиодом HL2. Происходит это благодаря формированию короткого отрицательного импульса на выходе элемента DD2.4 (выводе 13), который устанавливает D-триггер DD5.1 в единичное состояние. Уровень "0" с его инверсного выхода (вывода 6) включает HL2. Уровень "1" с прямого выхода DD5.1, поступая на вход управления WR (вывод 8) ОЗУ DD11, устанавливает микросхему памяти в режим "Чтение".

Одновременно при включении питания срабатывает схема сброса (C8, R23, R24, DD4.3, DD4.4) и устанавливает в нулевое состояние счетчики DD8.1, DD8.2, DD9.1, DD9.2.

В этом режиме "0" с инверсного выхода DD5.1 разрешает работу НЧ-генератора на элементах DD2.1, DD2.2 с частотой около 10 Гц (подстраивается с помощью R11). Импульсы отрицательной полярности с выхода DD2.2, после инвертирования элементом DD3.3, ограничения длительности дифференцирующей цепочкой C4-R14 и повторного инвертирования элементом DD3.4, устанавливают в "1" триггер DD5.2, запускающий, в свою очередь, ВЧ-генератор на элементах DD7.1, DD7.2. При этом "0" с инверсного выхода DD5.2 не изменяет состояние DD2.3, поскольку на втором его входе—

(выводе 8) — "1" с прямого выхода DD5.1. Таким образом, на адресных входах мультиплексора DD10 устанавливаются: "1" — на входе S0 и "0" — на входе S1. Это приводит к прохождению на выходы DD10 сигналов с его входов A1 и B1.

По спаду первого положительного импульса ВЧ-генератора, поступающего на вход С счетчика DD8.1, на выходе его младшего разряда (выводе 3) появляется "1". При этом начинается формирование отрицательных импульсов синхронизации (на выходе элемента DD7.3) и выборки ОЗУ (на выходе элемента DD6.4). Это приводит к появлению на выходе DD11 (выводе 7) бита информации, записанного по адресу, задаваемому счетчиками DD9.1, DD8.2, DD9.2. Но поскольку они, как отмечалось выше, установлены в "0", считывание первого бита данных

происходит по "нулевому" адресу ОЗУ. Этот бит информации появляется на выходе нижнего по схеме мультиплексора DD10 и поступает на информационные входы DR (выводы 11) контрольного (DD13) и выходного (DD16) регистров.

Отрицательный импульс, формирующийся на выходе элемента DD7.3, завершается с приходом очередного (второго по счету) отрицательного перепада с ВЧ-генератора. Положительный перепад с выхода DD7.3, проходя через верхний по схеме мультиплексор DD10, записывает текущий бит информации в первый разряд контрольного (DD13, DD14) и выходного (DD16, DD18) регистров.

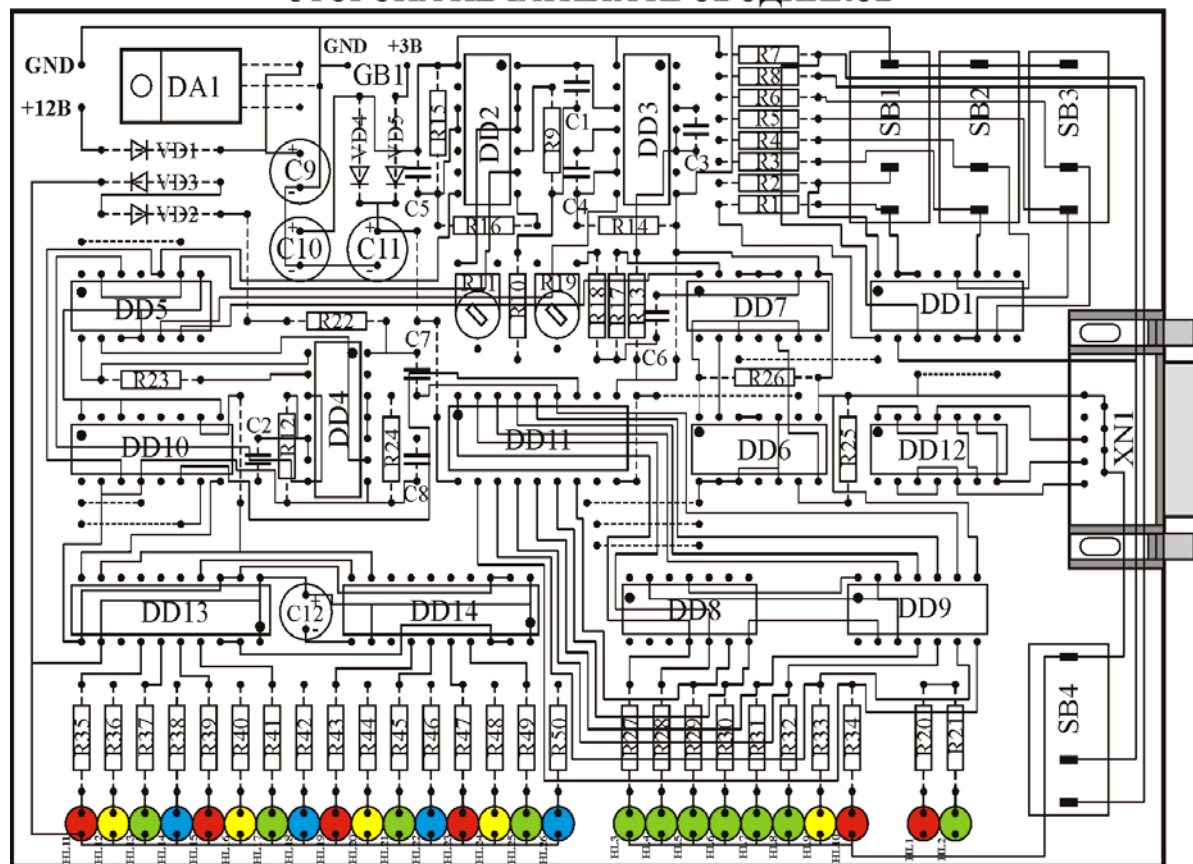
Описанная процедура повторяется 16 раз до момента заполнения контрольного (и выходного) регистров. По отрицательному перепаду 64-го импульса ВЧ-генератора счетчик

DD9.1 устанавливается в исходное (нулевое) состояние (максимальное число его состояний равно 16). Отрицательный перепад на выходе его старшего разряда (выводе 6) формирует на нижнем выводе конденсатора С7 короткий отрицательный импульс длительностью около 7 мкс, который, после инвертирования элементами DD4.3 и DD4.2, устанавливает DD5.2 в исходное (нулевое) состояние. Логический "0" на прямом выходе DD5.2 (выводе 9) останавливает ВЧ-генератор, и на его выходе (выводе 6 DD7.2) — "0".

Одновременно "0" с прямого выхода DD5.2 поступает на входы разрешения E1 и E2 (выводы 2 и 3) микросхем контрольного и выходного регистров и разрешает индикацию текущей комбинации, которая будет отображаться до момента появления отрицательного

Рис.3.

## СТОРОНА ПЕЧАТНЫХ ПРОВОДНИКОВ





перепада очередного импульса НЧ-генератора.

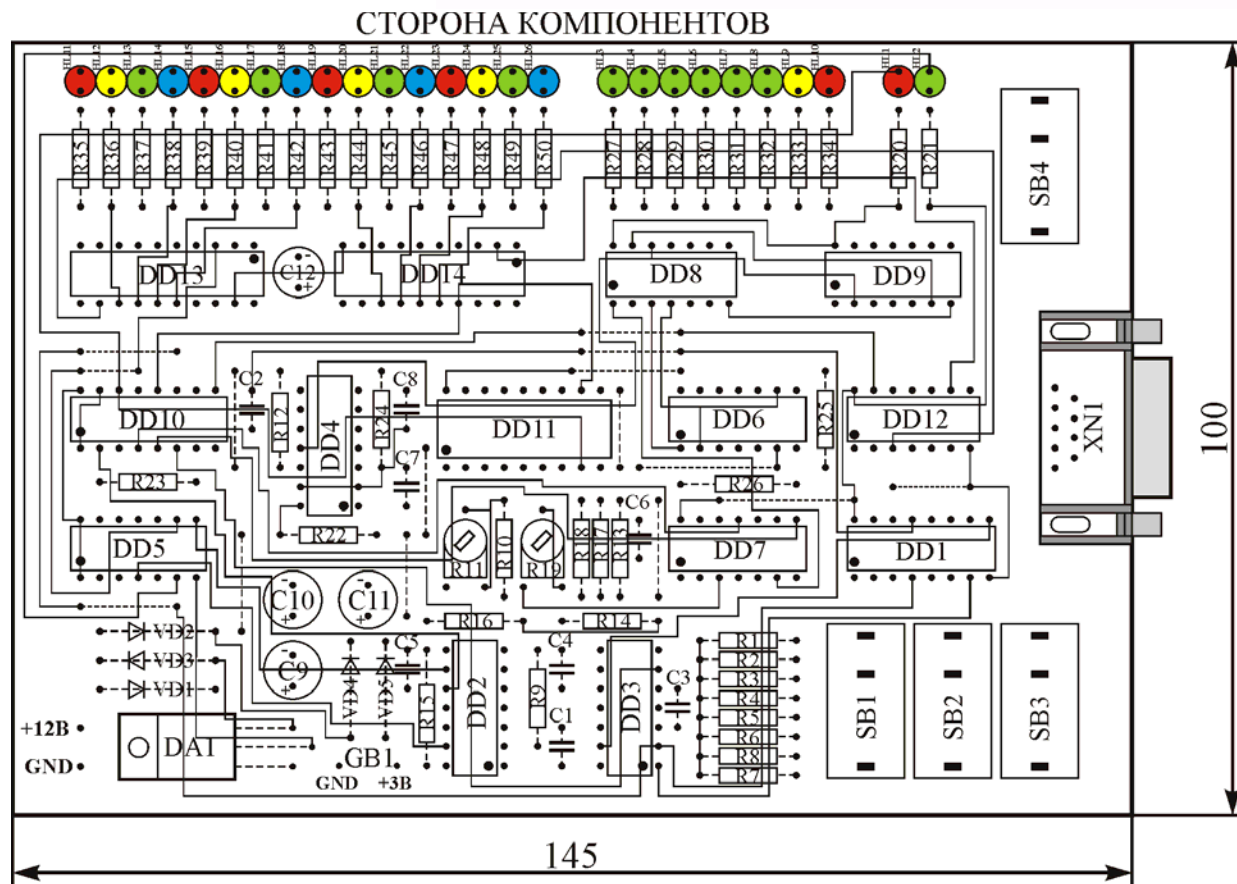
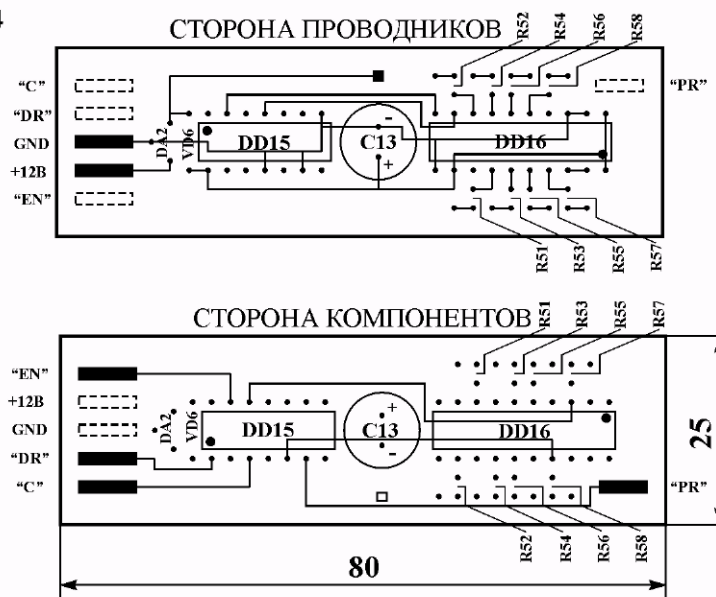
В режим программирования устройство переводится однократным нажатием кнопки SB4, что приводит к появлению "1" на выходе нижнего по схеме RS-триггера в составе микросхемы DD1. Этот уровень удерживается, пока нажата кнопка. Это относится и к трем остальным RS-триггерам, входящим в состав микросхемы DD1. Низкие уровни ("0") на их выходах удерживаются, пока нажаты соответствующие кнопки (SB1...SB3). Поскольку между выходом RS-триггера и входами элемента DD4.1 включена дифференцирующая цепочка C2-R12, на выходе элемента DD4.1 формируется короткий отрицательный импульс длительностью около 7 мкс, перебрасывающий триггер DD5.1 в противоположное (нулевое) состояние.

Зеленый светодиод HL2 гаснет, и

загорается красный (HL1), что означает переключение устройства в режим программирования.

Переход в режим программирования возможен в любой момент времени при однократном нажатии

Рис. 4



кнопки SB4. Повторное нажатие этой кнопки переключает устройство обратно в режим воспроизведения.

В любом случае при нажатии SB4 происходит обнуление адресных счетчиков DD9.1, DD8.1, DD9.2, что, в свою очередь, сопровождается переходом устройства в режим воспроизведения программы или в режим "Запись" (при повторном нажатии SB4), но также начиная с нулевого адреса.

Нажатие кнопки SB1 или SB2 вызывает переключение элемента DD3.1 в единичное состояние, формирование короткого положительного импульса на выходе цепочки C3-R13, который после инвертирования элементом DD3.2 и прохождения через верхний мультиплексор DD10 (теперь на его адресных входах SO и S1 установлены "0") записывает в первый разряд контрольного и буферного регистров информацию, устанавливаемую на их входах DR (выводы 11).

Одновременно содержимое всех разрядов сдвигается на одну позицию вправо (в направлении возрастания разрядов).

При нажатии кнопки SB1 происходит изменение состояния первого RS-триггера DD1. На выходе 1Q (выводе 4) появляется "0", который через нижний мультиплексор DD10 поступает на информационные входы DR регистров DD13 и DD16. По завершении отрицательного импульса (по положительному перепаду) на входе C, он записывается в первый разряд регистра. При нажатии кнопки SB2 состояние первого RS-триггера DD1 не изменяется, и в первый разряд регистров DD13 и DD16 записывается "1".

Таким образом, последовательное нажатие кнопок SB1, SB2 позволяет задавать любую комбинацию на контрольной светодиодной линейке HL11...HL26. Программирование текущей комбинации завершается нажатием кнопки SB3. При этом содержимое регистров DD13, DD14 переписывается в ОЗУ по адресам, задаваемым счетчиками DD9.1,

DD8.2, DD9.2, а информация в регистрах DD13, DD14 обновляется, поскольку выход PR (вывод 17) DD14 через нижний мультиплексор DD10 подключен к входу DR (выводу 11) DD13. Такой алгоритм формирования управляющего кода позволяет исключить возможные ошибки в процессе программирования, поскольку не нужно сразу же после задания комбинации на контрольной линейке нажимать кнопку SB3. Только убедившись, что введена правильная комбинация, нажимают SB3.

Визуальный контроль заполнения адресного пространства ОЗУ DD11 производят по линейке светодиодов HL3...HL10, отображающих текущий адрес двоичных счетчиков DD9.1, DD8.2, DD9.2. Первые 6 светодиодов (HL3...HL8 — зеленого цвета) индицируют заполнение первых 25% адресного пространства, HL9 (желтый) в сочетании с зелеными — от 25 до 50%, HL10 (красный) в сочетании с желтым и зелеными — от 50 до 100%. Одновременное свечение всех светодиодов в режиме записи указывает на заполнение адресного пространства ОЗУ, кроме ячеек по 16-ти последним адресам. После записи комбинации по этим адресам, счетчики устанавливаются в "нулевое" состояние, и светодиоды HL3...HL10 гаснут. На всех адресных линиях устанавливаются "0". После однократного нажатия SB4 устройство переводится в режим "Воспроизведение".

**Детали и конструкция.** Основная плата устройства имеет размеры 100x145 мм и выполнена из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм с двусторонней металлизацией. Чертеж платы показан на рис.3. Выходные регистры собраны на платах 25x80 мм (рис.4). Соединения, показанные штриховой линией, выполняются тонким многожильным проводом в изоляции.

В устройстве использованы постоянные резисторы типа МЛТ-0,125, переменные — СПЗ-386, конденсаторы типов К10-17 (C1...C8), К50-35 (C9...C14).

Светодиоды применены суперъяркие, 4-х цветов. На основной плате установлены светодиоды диаметром 3 мм, а в выносных гирляндах — 10 мм (типа КИПМ-15).

Защитный диод VD1 и развязывающие диоды VD2, VD3 могут быть любыми кремниевыми средней мощности. Кнопки SB1...SB4 — типа КМ 1-1. Они распаиваются непосредственно на плате, где для них предусмотрены соответствующие отверстия.

Для управления более мощной нагрузкой, например, лампами накаливания, выходные регистры необходимо дополнить транзисторными или симисторными ключами.

Микросхемы выходного регистра (DD15...DD18) (рис.2), управляющие гирляндой, при длине линии более 10 м, как отмечалось выше, подключаются к основной плате витыми парами проводов. Питание гирлянд, как и основной платы, осуществляется от стабилизированного источника напряжением 12В. Потребляемый ток не превышает 350 мА (пиковое значение при одновременном свечении всех светодиодов). На основной плате имеется три шины питания:

- $V_{DD1}$  — основная;
- $V_{DD2}$  — питание ОЗУ (DD11) и формирователя сигнала выборки (DD6);
- $V_{DD3}$  — питание контрольной линейки светодиодов (HL3...HL10) и двух микросхем контрольного регистра (DD13, DD14).

Режим хранения информации обеспечивается за счет батареи GB1 напряжением 3 В, состоящей из двух элементов LR03 (AAA). Диоды VD4, VD5 должны быть германиевыми, например, типа Д9Б (падение напряжения на них должно быть минимальным). При этом на входе CS DD11 должен быть уровень "1". Для этого в устройство введены "подтягивающие" резисторы R25, R26, формирующие (при отключенном основном источнике) на входах элемента DD6.3 "0". Такой же уровень появляется и на его выходе (выводе 3),



и после инвертирования элементом DD6.4 поступает на вход CS DD11 (вывод 10).

Регистры КР1564ИР24 (74НС299) можно заменить КР1554ИР24 (74АС299), а в крайнем случае, и КР1533ИР24 (SN74ALS299). Поскольку микросхемы КР1533ИР24 — ТТЛШ-структуры, и потребляют достаточно большой ток даже в статическом режиме (около 40мА), в выходных регистрах рекомендуется использовать микросхемы КМОП-структуры. ОЗУ статического типа КР537РУ2 заменима на КР537РУ3.

Интегральный стабилизатор DA1 (КР142ЕН5Б) при указанных на схеме номиналах токоограничительных резисторов R27...R50 в радиаторе не нуждается.

Если суперъярких светодиодов в распоряжении не окажется, можно использовать и обычные. При этом номиналы резисторов R27...R50 нужно уменьшить в 3-4 раза, а стабилизатор установить на радиатор площадью не менее 100 см<sup>2</sup>. Напряжение питания устройства можно увеличить до 15 В, но при этом мощность, рассе-

иваемая на ИМС стабилизаторов, возрастает пропорционально падающему на них напряжению. Частоту переключения светодинамических комбинаций можно изменять подстройкой резистора R11, а скорость загрузки (при работе на длинные линии) — R19.

**Программирование.** Подготовка устройства к работе заключается в занесении светодинамических комбинаций в память ОЗУ с помощью кнопок SB1...SB3. В качестве примера рассмотрим задание эффекта "Бегающие огни". Для программирования нужно:

- включить питание. Светодиоды HL3...HL10 должны отображать последовательное изменение состояния адресных счетчиков с частотой НЧ-генератора;

- однократно нажать кнопку SB4. Светодиоды должны погаснуть (установка счетчиков DD8.2, DD9.1, DD9.2 в "0"). Режим программирования индицирует красный светодиод HL1;

- однократно нажать кнопку SB1. Контролировать включение светодиода HL11;

- нажать SB3 (запись текущей комбинации с одновременным обновлением содержимого контрольных регистров DD13, DD14);

- нажать SB2. Контролировать погасание HL11 и включение HL12;

- нажать SB3;
- нажать SB2. Контролировать погасание HL12 и включение HL13;

- нажать SB3;
- повторять описанный процесс до прохождения включенным светодиодом всех позиций.

В процессе программирования нажатие SB3 вызывает изменение комбинаций двоичного кода на выходах счетчиков DD8.1, DD8.2, DD9.1, которые отображает линейка светодиодов HL3...HL10. Пример программирования эффекта "Бегающая тень" рассмотрен в [1].

Поскольку устройство допускает наращивание световых элементов, его можно использовать в качестве светоинформационного табло. Количество элементов гирлянды может достигать нескольких десятков (их удобно увеличивать с кратностью 8). Необходимо лишь установить требуемое количество контрольных и выходных регистров и соответственно изменить число тактовых импульсов синхронизации. Естественно, нужно учитывать изменение диапазона адресов ОЗУ, соответствующего одной светодинамической комбинации.

*По всем вопросам, связанным с реализацией последовательного интерфейса в светодинамических устройствах, можно получить консультацию, направив запрос на адрес электронной почты автора A\_ Odinets@tut. by.*

#### Литература

1. А.Одинец. СДУ с последовательным интерфейсом. — Радиомир, 2003, №12, С.16.

2. Зельдин Е.А. Цифровые интегральные микросхемы в информационно-измерительной аппаратуре. — Л., 1986, С.76.