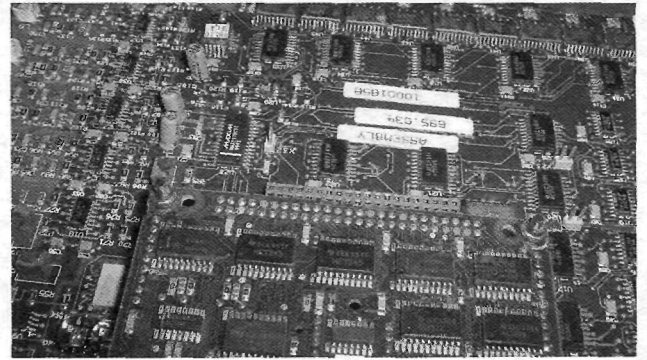


Простейшие цифровые устройства

Андрей Белый

Цифровые электронные схемы - это основа современной электроники. Устройства, использующие дискретные микросхемы (ИМС), так называемая жесткая логика, или системы, использующие программируемые логические матрицы обеспечивают куда более высокое быстродействие, чем устройства на программируемых микроконтроллерах. Об основных элементах цифровых систем будет рассказано в этой статье.



Разработка цифровых систем производится на основе математического аппарата алгебры логики, которую еще называют булевой алгеброй. В алгебре логики переменные могут принимать только два значения: лог. «0» или лог. «1». Над переменными величинами производится три основных действия:

- логическое отрицание (функция «НЕ»);
- логическое сложение (логическая функция «ИЛИ»);
- логическое умножение (функция «И»).

Логическое отрицание - это простейшая логическая функция. Ее математически можно обозначить как $Y(x) = \bar{x}$. Простейший пример такой функции - это реле, которое при срабатывании размыкает цепь. Важно, что осуществление функции «НЕ» (инверсии) таково: инверсия $1 = 0$; инверсия $0 = 1$; двойная инверсия не изменяет значение переменной.

Логическое сложение (его еще называют дизъюнкция). Его обозначают символом «+» или «V». Примером реализации такой функции может быть цепь, состоящая из параллельно включенных нормально разомкнутых контактов нескольких реле. При срабатывании любого из этих реле цепь замыкается. Таким образом, логическая сумма равна 1, когда равно единице одно или несколько слагаемых:

$$0 + 1 = 1; 1 + 1 + 1 \dots + 1 = 1; 0 + 0 = 0.$$

Логическое умножение (его еще называют конъюнкция) обозначается точкой или символом «&». Эту функцию реализуют, например, несколько соединенных последовательно нормально разомкнутых контактов реле. Такая цепь будет замкнута только тогда, когда сработают все реле:

$$0 \& 0 = 0; 0 \& 1 = 0; 1 \& 1 = 1.$$

Основные законы алгебры логики

1. Переместительный закон
 $a + b = b + a; ab = ba.$
2. Сочетательный закон
 $(a + b) + c = a + (b + a); (ab) c = a (bc).$
3. Закон поглощения
 $a + ab = a (1 + b) = a; a (a + b) = a + ab = a.$
4. Закон склеивания
 $ab + \bar{a}b = a; (a + b) (a + \bar{b}) = a.$
5. Закон отрицания
 $\overline{a + b} = \bar{a}\bar{b}; \overline{ab} = \bar{a} + \bar{b}.$

Наиболее распространенные типы логических элементов

Логические функции «И», «ИЛИ» и «НЕ» представляют собой функционально полную систему логических элементов, используя которые можно реализовать любую, даже самую сложную, логическую функцию. На практике, кроме этих элементов, также широко распространены элементы «ИЛИ-НЕ» и «И-НЕ».

В табл. 1 приведены функции 4-х наиболее распространенных логических элементов, а на рис. 1 показано их графическое обозначение.

Каждая из перечисленных в табл. 1 логических функций может быть распространена не на 2, а на

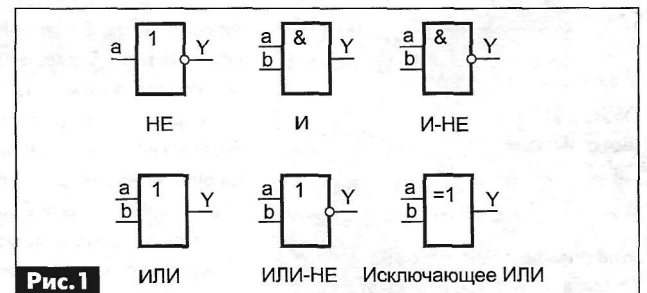


Рис. 1

Табл. 1

Логический элемент	Выполняемая функция	Переменные				Название функции	
		a	0	0	1		1
И	ab	b	0	1	0	1	Конъюнкция
И-НЕ	$\bar{a}\bar{b}$	0	0	0	0	1	
ИЛИ	$a + b$	1	1	1	1	0	Штрих Шеффера
ИЛИ-НЕ	$a + \bar{b}$	0	1	1	1	1	Дизъюнкция
		1	0	0	0	0	Стрелка Пирса

большее число логических переменных. Т.е. логические элементы микросхем (ИМС) могут иметь не только 2, но и 3, 4 или 8 входов (большее число входов, как правило, не используется из-за ограниченного числа выводов корпуса ИМС).

Кроме рассмотренных выше элементов часто используется также элемент «Исключающее ИЛИ». Его таблица истинности приведена в **табл.2**.

Табл.2. Таблица истинности элемента исключающее ИЛИ

a	b	Y
0	0	0
1	1	0
1	0	1
0	1	1

По виду реализуемой логической функции логические элементы могут быть разделены на элементы одноступенчатой логики: «И», «ИЛИ», «НЕ», «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ»; и двухступенчатой логики: «И-ИЛИ», «И-ИЛИ-НЕ» и т.п.

В зависимости от того, решим ли мы, что лог. «1» - это высокий или низкий уровень напряжения, логика может быть «положительной» (в первом случае) или «отрицательной» (во втором случае). При этом один и тот же физический элемент ИМС будет выполнять функцию «ИЛИ-НЕ» в «положительной» логике и функцию «И-НЕ» в «отрицательной». Принято, что паспортное обозначение логического элемента соответствует той функции, которую он реализует при «положительной» логике.

Триггеры

На основе рассмотренных выше логических элементов можно создавать более сложные логические устройства, например, такие как сумматоры или устройства с памятью - триггеры. Триггер представляет собой устройство с двумя устойчивыми логическими состояниями «0» или «1». При этом после установки триггера в какое-либо состояние, например «1», он сохраняет его неограниченно длительное время, до тех пор, пока на него не поступят новые управляющие сигналы. Наибольшее распространение получили триггеры типов RS, JK и D.

RS- триггер

Он имеет два выхода Q и \bar{Q} , а также два информационных выхода R и S. Вход R - это вход установки триггера в состояние лог. «0» ($Q = 0, \bar{Q} = 1$), которое сохраняется триггером и после того как

снят сигнал с входа R. Вход S устанавливает триггер в состояние лог. «1» ($Q = 1, \bar{Q} = 0$).

Основная особенность любого триггера - это память, поскольку после установки RS-триггера в состояние «1» сигналом по входу S, он сохраняет это состояние неограниченно долго до поступления новых сигналов по входам R и S. Таблица истинности RS-триггера приведена в **табл.3**.

Как видно из **табл.3** при одновременной подаче на входы R и S сигналов лог. «1» состояние триггера будет неопределенным. Поэтому надо избегать ситуации, когда на оба входа (и на R, и на S) подается сигнал лог. «1». Начинаясь разработчики цифровых устройств зачастую упускают это из виду, что приводит к неработоспособности устройств, где не учтена эта особенность RS-триггера.

RS-триггер как составной элемент присутствует в составе более сложных устройств - JK и D-триггеров, которые имеют дополнительные информационные входы и вход синхронизации.

JK-триггер

Он имеет два дополнительных информационных входа J и K и тактовый вход C. По сигналу лог. «1» на входе J триггер при поступлении тактового сигнала на вход C переключается в состояние «1». При наличии на входе K лог. «1» триггер по тактовому сигналу на входе C переключается в состояние «0». Если на входы J и K одновременно подать сигнал лог. «1», триггер по тактовому сигналу переключается в состояние противоположное предыдущему. Таблица истинности JK-триггера приведена в **табл.4**. Важно отметить, что конкретный тип триггера может срабатывать или по переднему, или по заднему фронту тактового импульса. Это важно учитывать при разработке цифровых устройств. Разумеется, что JK-триггер также может иметь дополнительные информационные входы R и S, как и RS-триггер.

D- триггер

Это наиболее популярный вид триггера.

Он имеет информационный вход D и тактовый вход C. Состояние D-триггера после поступления тактового импульса совпадает с сигналом на входе D при поступлении тактового импульса (**табл.5**).

Т.е. в триггер тактовый импульс записывает информацию, которая в момент этого импульса присутствовала на входе D.

Табл.3. RS-Триггер

Время t		Время (t + 1)			
Предыдущая информация		Записываемая информация		Результат	
Выходы		Входы		Выходы	
Q	\bar{Q}	R	S	Q	\bar{Q}
0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	X	X
1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	X	X

Табл.4. JK-триггер

Время t				Время (t + 1)	
Выходы		Входы		Выходы (после подачи тактового импульса)	
Q	\bar{Q}	J	K	Q	\bar{Q}
0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	1	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	1
1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1

Табл.5. D-триггер

Время t			Время (t + 1)	
Выходы		Вход	Выходы (после подачи тактового импульса)	
Q	\bar{Q}	D	Q	\bar{Q}
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0

При этом в разных видах D-триггеров запись информации может производиться или по переднему, или по заднему фронту тактового импульса. Можно сказать, что D-триггер осуществляет задержку входного сигнала на время до поступления тактового импульса.

Важно отметить, что у некоторых видов триггеров, записывающих информацию по заднему фронту импульса, их выходное состояние может изменяться, если сигнал по входу D изменяется во время длительности тактового импульса. В этом случае в триггер будет записана информация, присутствовавшая на выходе D в момент заднего фронта импульса.

Большинство типов D-триггеров, как и JK-триггеров, содержат входы R и S для асинхронного (не согласованного с приходом тактового импульса) изменения их состояния.

Графическое обозначение различных видов триггеров показано на рис.2.

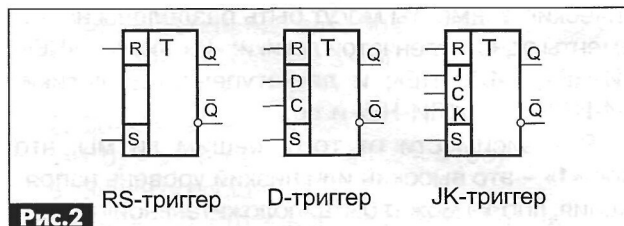


Рис.2

От редакции. О практическом применении D-триггеров в радиолюбительской практике рассказывается в статье, опубликованной на стр. 17–19 этого номера журнала.

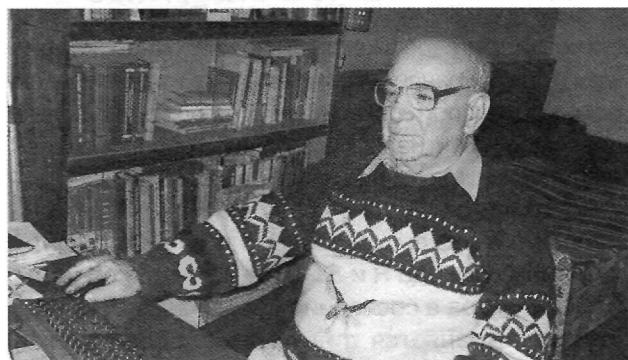
Литература

1. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Якубовский С.В. и др. Аналоговые и цифровые интегральные схемы. - М.: Советское радио, 1979.

УТИМА – 80 лет!!!

Эрнест Ильич Гуткин, родился 29 февраля 1932 года. Путь в любительское радио начался с первого детекторного приемника, сделанного в далеком 1944 году. Потом (1947 г.) был первый наблюдательский позывной. В 1952 г. – чемпион ДОСААФ СССР в составе коллективной радиостанции UB5KAF и «Мастер радиолюбительского спорта ДОСААФ СССР» №3. В 1953 г. получил свой первый позывной UB5CE и вскоре «Мастер спорта СССР», призер многих соревнований и т. д.

Многие конструкции Эрнеста Ильича завоевали большую популярность у радиолюбителей и являются определенными этапами в конструировании любительской техники. Первая серьезная статья «КВ и УКВ передатчик» была опубликована в журнале «Радио» №1 1956 г. (серебро на ВРВ 1955 года). Далее были: «Автоматическая настройка П-контура» («Радио» №№5,6 1981 г.), «Многодиапазонная направленная КВ антенна» («Радио» №№1,2,3 1985 г. и №8 1987 г.), «Радиолюбительский частотомер – цифровая шкала» («Радиолюбитель» №11 1992 г.). А знакомая нашим читателям, с 2000 г. по настоящее время, серия статей о многодиапазонных вертикальных, а потом направленных антеннах, стала ярким подтверждением конструкторского таланта Эрнеста Ильича. Его уникальные, в своем клас-



се, антенны не уступают в эффективности и превосходят по широкополосности и урону подводимой мощности, простоте и надежности конструкции, фирменные антенны аналогичного назначения. И сейчас Эрнест Ильич полон творческих сил и энергии в разработке и конструировании новых антенных систем.

Уважаемый Эрнест Ильич, примите от редакционной коллегии и читателей нашего журнала, Ваших землячков луганчан и всех почитателей Вашего таланта, сердечные поздравления с 80-летием со дня рождения! Желаем Вам крепкого здоровья, долголетия и новых творческих успехов!

Простейшие цифровые устройства. Часть 2

Андрей Белый

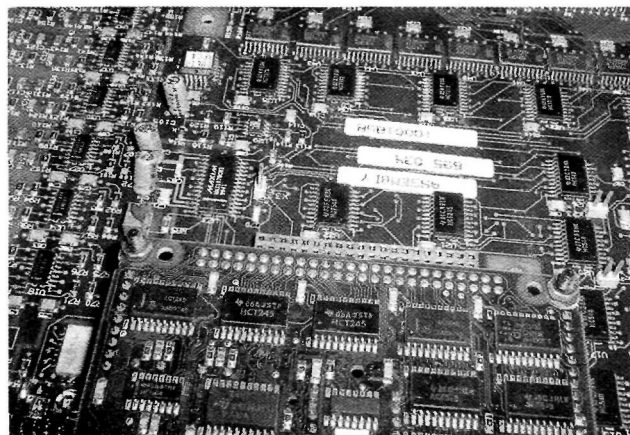
В этой статье мы продолжим рассказ о сериях наиболее популярных цифровых ИМС малого уровня интеграции.

Серийно производимые цифровые микросхемы отличаются типом используемого электронного ключа. Дело в том, что постоянное повышение требований к быстродействию, помехоустойчивости и уменьшению потребляемой мощности цифровых устройств привело к созданию различных цифровых ИМС, разработка которых, как правило, производится сериями. Серия таких ИМС представляет собой комплект микросхем, в котором используется единое конструктивное и схемное решение. В состав таких серий кроме рассмотренных в предыдущей статье (см. РА 2/2012) входят также счетчики, дешифраторы, сумматоры и другие арифметические устройства. Все они строятся на базе единого электронного ключа, иначе еще называемого логикой. Например, это микросхемы транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ), эмиттерно-связанной транзисторной логики (ЭСТЛ), комплиментарной металл-оксидной полупроводниковой логики (КМОП) и т.д.

ИМС различных типов плохо совмещаются друг с другом, поскольку имеют различные уровни лог. «0» и лог. «1», а также разное напряжение источника питания. Рассмотрим это более подробно.

ИМС ТТЛ и ТТЛШ

Некоторое время тому назад наиболее широко распространены были ИМС серий ТТЛ или ТТЛШ (т.е. транзисторно-транзисторная логика с диодами Шотки). В этих ИМС используются биполярные транзисторы структуры n-p- В ИМС ТТЛШ переходы база-коллектор биполярных транзисторов шунтированы диодами Шотки. Это позволяет значительно увеличить быстродействие таких ИМС при той же или даже меньшей потребляемой ИМС мощностью. Такие ИМС отличаются фиксированным напряжением питания +5 В и фиксированными уровнями логических сигналов: лог. «0» - 0...0,4 В, лог. «1» - 2,4...5 В. Иными словами, уровень входного напряжения менее 0,4 В такая ИМС воспринимает как лог. «0», а напряжение более 2,4 В - как лог. «1». Присутствие на входе такой ИМС напряжения в диапазоне от 0,4 до 2,4 В (от 0,5 до 2,7 В для ТТЛШ) приводит ее в неопределенное состояние, поэтому является запрещенным режимом работы. Особенностью ТТЛ логики является также разное потребление тока такой ИМС по входу, в зависимости от того, подается на него лог. «0» или лог. «1». Дело в том, что



вход ТТЛ ИМС - это один из эмиттеров многоэмиттерного транзистора (2-входовой элемента «ИЛИ-НЕ» ТТЛ логики показан на рис. 1, а). Поэтому ток потребления такой ИМС по входу при подаче на него лог. «0» значительно больше (у стандартной ИМС серии К155 - 1,6 мА), чем при подаче на него лог. «1» (у стандартной ИМС серии К155 - 0,4 мА). Аналогично и по выходу ТТЛ ИМС в состоянии лог. «0» может отдать в нагрузку куда больший ток, чем в состоянии лог. «1».

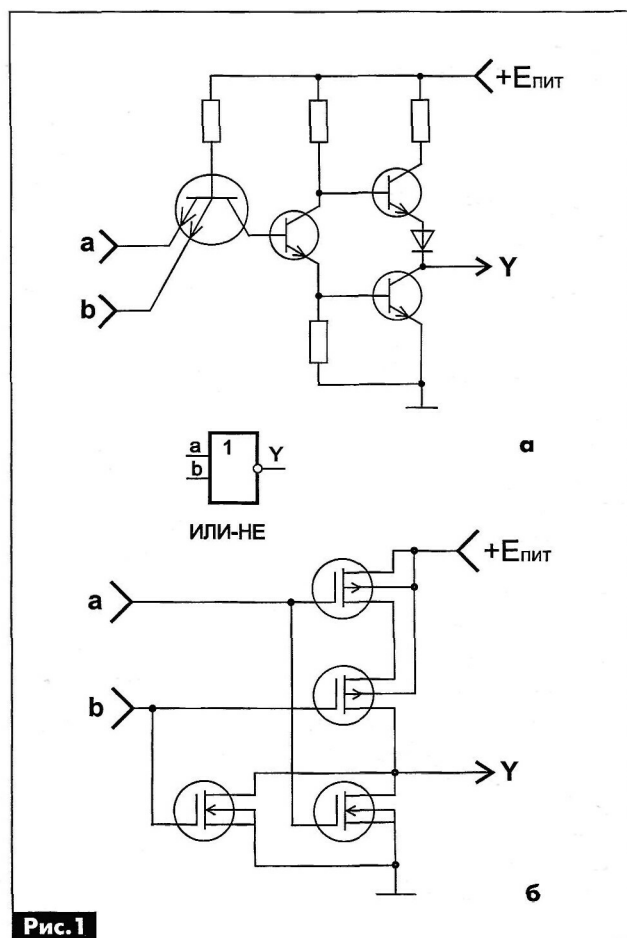


Рис. 1

Существует большое многообразие ИМС логики ТТЛ и ТТЛШ, отличающихся быстродействием, потребляемой мощностью (существуют специальные микромощные серии) и т.д. (см. таблицу). Однако важно отметить, что все ИМС этих серий совместимы друг с другом по уровням логических сигналов и напряжению питания $5 \text{ В} \pm 5\%$.

При этом стандартные ИМС ТТЛ логики серий 133 и К155 работают на частотах до 10 МГц, микромощные (серия 134) - до 3 МГц, с диодами Шотки (К555) - до 33 МГц, усовершенствованная с диодами Шотки (К1533) - до 50 МГц. При этом потребляемая мощность у микромощных ИМС серии 134 в 11 раз ниже, чем у стандартных ИМС серии 133 и К155. Аналогично, у ТТЛШ ИМС серии К555 быстродействие в 5 раз выше, чем у ИМС серии 133 и К155, а потребляемая мощность при этом меньше на 15%.

Говоря об ТТЛ ИМС важно отметить, что их предельное напряжение питания не должно превышать 6 В, а максимальная емкость нагрузки, на которую они работают, - 200 пФ.

Надо отметить, что ТТЛ ИМС - это устаревший тип ИМС, который в настоящее время применяется не очень часто, однако такие ИМС дешевы, доступны - радиолюбители могут широко использовать их в своем творчестве.

Более широкое применение в настоящее время находят ИМС ТТЛШ, однако их также «теснят» ИМС КМОП логики.

ИМС ЭСТЛ

Эти ИМС были разработаны для получения высокого быстродействия, недостижимого (в 1970-80 гг.) для ИМС ТТЛ логики. В этих ИМС ис-

пользуются биполярные транзисторы структуры п-р-п. Эти ИМС имеют отрицательное напряжение источника питания $-5,2 \text{ В} \pm 5\%$. Логические уровни у них составляют: лог. «1» = $-0,96 \text{ В}$, лог. «0» = $-1,65 \text{ В}$. Т.е. эти ИМС абсолютно не совместимы по входам и выходам с ИМС ТТЛ или других типов логики. К тому же у них очень маленький перепад между лог. «0» и лог. «1» - всего 0,69 В, однако стандартные серии ИМС ЭСТЛ имеют быстродействие примерно в 10 раз выше (т.е. работали на частотах 50... 100 МГц), чем у стандартных серий ИМС ТТЛ логики.

В настоящее время такие ИМС малого уровня интеграции практически не используются, но находят широкое применение при проектировании специальных процессоров или контроллеров, для которых важно высокое быстродействие.

ИМС КМОП

Такие ИМС находят наибольшее применение в радиолюбительской практике. Они основаны на использовании последовательно включенных и управляемых одним сигналом МОП транзисторов. Таким образом, когда один из последовательно включенных транзисторов открывается, другой закрывается. Следовательно, такой каскад практически не потребляет мощность в статическом режиме. На **рис. 1**, показана схема 2-входового логического элемента «ИЛИ-НЕ» на КМОП транзисторах. Из **рис. 1**, b видно, что в отличие от ИМС другого типа логики, КМОП ИМС не содержит пассивных элементов, а построены исключительно на МОП транзисторах разного типа проводимости. В таких ИМС диоды используются только как защитные элементы на входах.

Табл. 1

Параметр	Обозначение	К555	КР1533	К561 / КР1561	1564	КР1554
Технология		ТТЛШ	ТТЛШ	КМОП	КМОП	КМОП
Зарубежный аналог		74LS	74ALS	Н4000	74НС	74АС
Напряжение питания, В	U_{cc}	$5 \pm 5\%$	$5 \pm 5\%$	3...15	2...6	2...6
Диапазон температур, °С	T	-10...+70	-10...+70	-10...+70	-40...+85	-40...+85
Выходное напряжение, В	U_{OH} , мин.	2,7	2,7	$U_{cc} - 0,1$	$U_{cc} - 0,1$	$U_{cc} - 0,1$
	U_{OL} , макс.	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1
Входное напряжение, В	U_{IH} , мин.	2,0	2,0	$U_{cc} / 2 + 0,1$	$U_{cc} / 2 + 0,1$	$U_{cc} / 2 + 0,1$
	U_{IL} , макс.	0,8	0,8	$U_{cc} / 2 - 0,1$	$U_{cc} / 2 - 0,1$	$U_{cc} / 2 - 0,1$
Выходной ток, мА	I_{OH}	0,4	0,4	0,44	4	24
	I_{OL}	8	8	0,44	4	24
Входной ток, мкА	I_{IH}	20	20	0,3	1	1
	I_{IL}	400	200	0,3	1	1
Ток потребления вентиля в статическом режиме, мА	I_B	0,4	0,2	0,0005	0,0005	0,0005
Максимальная частота переключения D-триггера, МГц	F_{max}	33	50	8	50	150
Время задержки распространения, тип. / макс.	t_p	10/15	5/11	40/160	10/23	4/8,5

К достоинствам КМОП ИМС (кроме малой потребляемой мощности) можно отнести:

- широкий диапазон питающих напряжения - 3...15 В (некоторые серии 3...18 В);
- малый входной ток - 0,3 мкА;
- высокая помехоустойчивость - до $0,45 U_{пит}$;
- уровень лог. «1» равен $(U_{пит} - 0,1 В)$, т.е. практически равен напряжению питания;
- значительный выходной ток - 0,44 мА (у некоторых ИМС - до 10 мА).

Особенность ИМС КМОП логики в том, что уровень лог. «0» для них составляет $\dots 0,45 U_{пит}$, лог. «1» - $0,55 \dots 1 U_{пит}$. Т.е. у них очень невелика зона неопределенного входного сигнала, и помеха величиной почти $0,5 U_{пит}$ не вызывает сбоя.

Входное сопротивление КМОП ИМС очень велико (десятки МОм), так как определяется только утечками в изоляции транзисторов. Однако высокое входное сопротивление КМОП ИМС - это не только преимущество, но и параметр, вызывающий определенные трудности при работе с такими ИМС. Дело в том, что изоляция затвора и канала входных транзисторов КМОП ИМС пробивается при напряжении 30...50 В. А при высоком входном сопротивлении такое напряжение получить очень просто. Особенно большую опасность для КМОП ИМС представляет статическое электричество, от которого их надо тщательно защищать. Конечно, конструкторы приняли защитные меры и установили на входах КМОП ИМС диоды, соединяющие входы ИМС с выводами источника питания, однако при транспортировке и монтаже таких ИМС все равно надо соблюдать меры защиты от статического электричества.

Совместимость логических ИМС разных серий

Как уже отмечалось ранее, ИМС ЭСТЛ логики несовместимы с ИМС других типов из-за того, что питаются от источника отрицательного напряжения и имеют низкие значения уровней лог. «0» и лог. «1». Чтобы согласовать устройство на таких ИМС с, например, ТТЛ ИМС, необходим специальный преобразователь уровня и дополнительный источник положительного напряжения.

Что касается ТТЛ и КМОП ИМС, то они, несмотря на то, что могут работать от одного и того же источника питания +5 В, также не совместимы по стыку «выход КМОП - вход ТТЛ», так как входной ток стандартной ТТЛ ИМС (1,6 мА) превышает максимальный выходной ток стандартной КМОП ИМС серии К561 / К1561 (0,44 мА). Этот вопрос решается применением специальных элементов с повышенной нагрузочной способностью.

Что касается совместимости «выход ТТЛ - вход КМОП», тут также есть проблема: при напряжении питания +5 В выходное напряжение ТТЛ ИМС составляет 2,4...2,5 В, а для КМОП ИМС

К561 / К1561 надобно бы 2,5 В. Поэтому при таком стыке между выходом ТТЛ (ТТЛШ) ИМС между ее выходом и источником +5 В устанавливают «подтягивающий» резистор номиналом 1...10 кОм.

Основные характеристики совместимых серий ТТЛШ и КМОП ИМС приведены в **табл. 1**.

Серия К555 - это устаревшая ТТЛШ серия, которая широко доступна радиолюбителям. Она с успехом заменит ИМС известной серии К155, при этом имеет большую скорость переключения и потребляет меньшую мощность.

Серия КР1533 (74ALS) - это современная ТТЛШ серия, которая не только потребляет меньшую мощность, чем К555, но имеет и более высокое быстродействие.

Серия К561/КР561 (Н4000) - очень популярная до сих пор и часто незаменимая во многих приложениях серия КМОП ИМС. Это развитие первой серии КМОП ИМС 164/К176 (напряжение питания +9 В). ИМС К561/КР561 совместимы с ИМС 164/К176, но имеют больший диапазон питающих напряжений, большее быстродействие и больший максимальный выходной ток. Особенность КМОП ИМС в том, что в отличие от ТТЛ/ТТЛШ ИМС они имеют одинаковый выходной максимальный ток в состоянии как лог. «0», так и лог. «1».

ИМС К561/КР561 имеют достаточный выходной ток, чтобы быть совместимыми с одним входом ИМС серий К555 или 2 входами ИМС серии КР1533. В то же время, подключать непосредственно к выходу ИМС этой серии светодиодный индикатор нельзя, нужны согласующие транзисторы или специальные ИМС с повышенным выходным током.

При одинаковом напряжении питания эти ИМС также совместимы с КМОП ИМС серий 1564 и КР1554.

Серия 1564 - это своеобразный КМОП аналог ТТЛШ ИМС К555. Эти КМОП ИМС имеют диапазон питающих напряжений 2...6 В, почти как у ТТЛ, такое же быстродействие, как ИМС серии К555, но при этом потребляют гораздо меньшую мощность. Выходной ток таких ИМС позволяет им работать на 10 входов ИМС серии К555.

Серия КР1554. Отличается более высоким быстродействием, чем ИМС серии КР1533, малой потребляемой мощностью и заметно большим быстродействием, чем ИМС ТТЛШ. Так же, как 1564, совместима с КМОП ИМС по входам и выходам. При этом отличается большим выходным током (до 24 мА), что облегчает построение на ее основе схем индикации или управления электромагнитными реле.

Литература

1. Петровский И.И. и др. Логические ИС КР1533, КР1554. Справ. (в 2 частях). - М.: Бинном, 1993.

Простейшие цифровые устройства. Часть 3

Андрей Белый, г. Киев

В этой статье мы рассмотрим такие популярные цифровые ИМС, как регистры сдвига, счетчики, дешифраторы и коммутаторы.

Описать все многообразие цифровых ИМС в одном цикле статей весьма затруднительно, из-за их очень широкой номенклатуры. Поэтому ограничимся рассмотрением ИМС КМОП логики популярных среди радиолюбителей серий К561 /К1561 и КР1544 (далее кратко - К561), об основных параметрах которых рассказывалось в предыдущей статье (см. РА 3/2012).

В состав ИМС этих серий входят такие основные группы цифровых микросхем:

- логические элементы;
- триггеры;
- магистральные приемопередатчики и формирователи сигналов;
- мультиплексоры (коммутаторы);
- регистры;
- счетчики;
- дешифраторы.

Логические элементы и триггеры

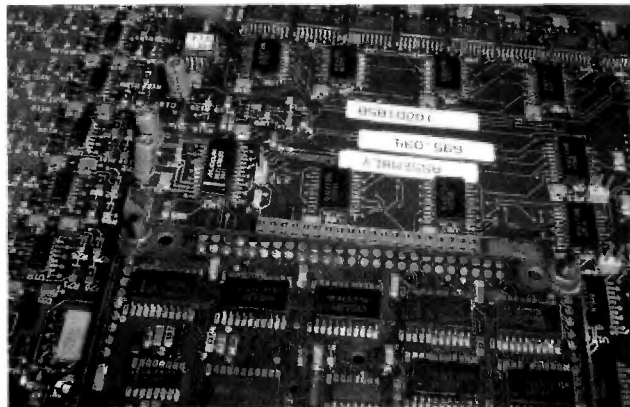
Они были рассмотрены в предыдущих статьях цикла «Радиошкола». Отметим только, что кроме отдельных JK- и D-триггеров в состав серии К561 входят также ИМС, содержащие 4 или 6 D-триггеров с общим тактовым входом С.

Магистральные приемопередатчики и формирователи сигналов

Представляют собой специализированные ИМС, применяемые для организации компьютерных сетей или для связи между удаленными друг от друга цифровыми устройствами. В радиолюбительской практике они применяются не очень широко. Например, ИМС КР1544АП6 представляет собой восьмиразрядный двунаправленный приемопередатчик, выходы которого имеют 3 состояния. Т.е. он позволяет передавать цифровую информацию по 8 линиям, причем в двухстороннем режиме как от цифрового блока 1 к блоку 2, так и наоборот. При этом ИМС обладает выходом с тремя состояниями, т.е. при подаче на ее вход «выбор кристалла» лог. «0» ее выходы переходят в неактивное состояние. Это позволяет подключать к одной и той же линии передачи несколько выходов разных ИМС.

Коммутаторы

Выполненные на КМОП ИМС интересны тем, что просто соединяют свой выход с заданным входом, т.е. могут передавать как входной сигнал на



выход, так и выходной на вход. В этом они напоминают коммутаторы, выполненные на электромагнитных реле. Еще одна особенность КМОП-коммутаторов - это то, что они подобно релейным коммутаторам могут коммутировать как цифровые, так и аналоговые сигналы, так как содержат двунаправленные КМОП-ключи. Для коммутации аналоговых сигналов ИМС надо питать от двухполярного источника напряжением $\pm 2,5 \dots 7,5$ В. При питании от источника $\pm 7,5$ В такие ИМС способны без искажений коммутировать аналоговые сигналы с амплитудой до 5...6 В.

Наиболее популярные КМОП-коммутаторы следующие:

К561КП1 - 2 четырехканальных коммутатора с общим управлением в одном корпусе;

К561КП2 - восьмиканальный коммутатор.

Графическое обозначение этих ИМС показано на рис. 1.

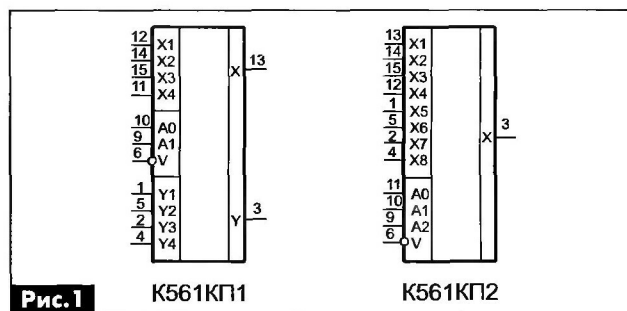


Рис. 1

Особенностью этих ИМС является то, что вход, который коммутируется на выход ИМС, выбирается с помощью подачи на адресные входы ИМС двоичного кода. Алгоритм работы ИМС К561КП1 приведен в табл. 1. При этом коммутация проис-

Табл. 1

A1	A0	Коммутация
0	0	X - X1
0	1	X - X2
1	0	X - X3
1	1	X - X4

ходит, только если на вход V ИМС подан сигнал лог. «0». Если на вход V подан сигнала лог. «1», то все каналы ИМС заперты. Это позволяет соединять ИМС коммутаторов по выходу, и при этом исключить их взаимное влияние.

Регистры

Они широко используются в цифровой технике для преобразования информации, содержащейся в последовательном коде, в параллельный код и наоборот, а также для построения логическо-арифметических устройств. В любом микроконтроллере (МК) имеется большое количество регистров, используемых для работы МК по заданной программе. В серии K561 также имеются регистры в виде отдельных ИМС. Кратко рассмотрим их.

K561IP2 - это два 4-разрядных регистра с последовательной записью информации (рис.2). По каждому положительному перепаду сигнала на его входе С он записывает на свой выход 1 информацию, которая в этот момент присутствует на входе D. При этом имевшаяся до этого информация на выходе 1 переписывается на выход 2, с выхода 2 - на выход 3, с выхода 3 - на выход 4. Таким образом, регистр может преобразовывать последовательный 4-разрядный код, поступающий на вход D, в параллельный на его выходах 1-4.

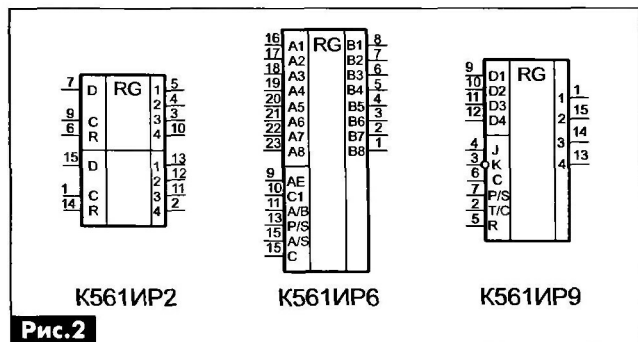


Рис.2

K561IP6 - это 8-разрядный универсальный двунаправленный регистр, позволяющий передавать информацию с его входов на выходы и наоборот.

K561IP9 - это 4-разрядный последовательно-параллельный регистр. Он позволяет производить независимо параллельную или последовательную запись информации и последовательное или па-

раллельное считывание имеющейся в нем информации (табл.2). В табл.2 обозначены:

* - любое состояние;

t_{n-1} - состояние до фронта импульса по входу С;
 t_n - состояние после переднего фронта импульса по входу С.

Поскольку регистры находят ограниченное применение в радиолюбительских разработках, мы их подробно рассматривать не будем.

Счетчики

Наряду с логическими элементами и триггерами эти ИМС находят самое широкое применение у радиолюбителей. Очень часто использование нескольких счетчиков, триггеров и коммутаторов позволяет построить устройство, выполняющее те же функции, что и МК, но без возни с написанием и отладкой программы.

Так как каждый выход счетчика может иметь состояние или 0, или 1, то 4-разрядный счетчик может последовательно изменять свое состояние от 0000 до 1111. Принято, что справа пишут состояние младших разрядов счетчика, а слева - старших. Т.е. состояние 0011 соответствует десятичным «3» (2+1=3), а состояние 0101 - десятичным «5» (4+1=5).

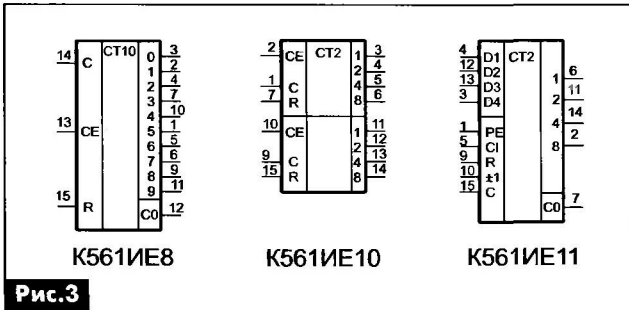
Отметим, что существуют двоичные и двоично-десятичные счетчики. Разница между ними в том, что двоичный 4-разрядный счетчик имеет 16 выходных состояний. Двоично-десятичный счетчик также имеет 4 разряда, однако его состояния (всего 10) возможны только от 0000 до 1001. После поступления 10 импульса он не переключается, как двоичный, в состояние 1010 (10 в двоичном коде), а сбрасывается в 0000. Таким образом, каскад, из нескольких двоично-десятичных счетчиков, подсчитывая входные импульсы, переводит их в привычную для нас десятичную систему исчисления.

Важно отметить, что кроме счетчиков, последовательно подсчитывающих поступающие на их вход импульсы, есть также и реверсивные счетчики, увеличивающие или уменьшающие свое состояние в соответствии с сигналом, поданным на его специальный вход. Есть также счетчики, работающие или как двоичные, или как двоично-десятичные, в зависимости от сигналов на их входах.

Табл.2

С	Входы (t_{n-1})			Выходы (t_n)	
	J	K	R	Q_{n-1}	Q_n
Положительный перепад	0	*	0	0	0
Положительный перепад	1	*	0	0	1
Положительный перепад	*	0	0	0	0
Положительный перепад	1	0	0	Q_{n-1}	Q_{n-1}
Положительный перепад	*	1	0	1	1
Отрицательный перепад	*	*	0	Q_{n-1}	Q_{n-1}
*	*	*	1	*	0

K561IE8 - десятичный счетчик с дешифратором (рис.3). В зависимости от количества поступивших на его вход импульсов, только на одном из его выходов 0-9 будет сигнал лог. «1». Остальные выходы будут в состоянии лог. «0». Лог. «1» по входу R сбрасывает счетчик в состояние «0». Счетчик переключается положительным перепадом по входу С если CE = лог. «0», или отрицательным перепадом по входу CE, если C = лог. «1».



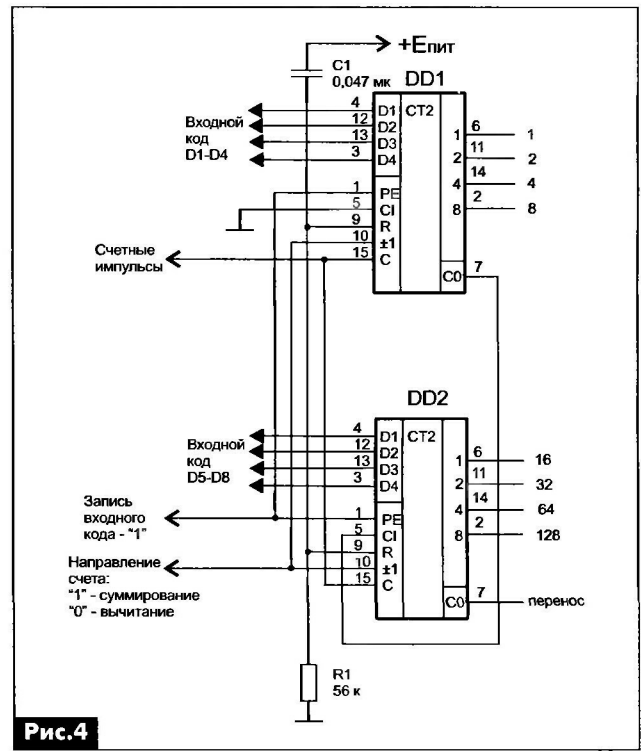
K561IE10 - два независимых 4-разрядных двоичных счетчика в одном корпусе. Сигналы по входам R, C и CE управляют счетчиком так же, как для ИМС K561IE8, однако выходная информация счетчика представлена в двоичном коде. Таким образом, включив последовательно оба счетчика, входящих в состав ИМС **561IE10**, мы получим счетчик на $16 \times 16 = 256$.

K561IE11 - достаточно сложный и интересный 4-разрядный реверсивный двоичный счетчик.

Кроме входа установки в 0 - R, счетчик имеет входы параллельной записи информации во все его разряды - D1-D4. При подаче на вход PE лог. «1» информация с входов D1-D4 заносится в счетчик. Это позволяет, например, использовать счетчик как делитель частоты с переменным коэффициентом деления. Счетные импульсы подаются на вход C счетчика. Если на вход ± 1 подана лог. «1», счетчик суммирует импульсы по входу C, если лог. «0» - вычитает из своего содержимого.

Для каскадирования счетчиков имеются специальные выводы - CI и CO. Соединив их, как показано на **рис.4**, мы получим многоразрядный счетчик, разряды которого переключаются синхронно с входными импульсами. Т.е. эта ИМС позволяет при каскадировании получать синхронный счетчик с произвольным количеством разрядов (определяется числом использованных ИМС).

Для этого **K561IE11** имеет выход переноса CO (сигнал лог. «1» на нем появляется, когда счетчик находится в состоянии 1111) и вход переноса CI. Работает она так: при наличии сигнала переноса CO = лог. «1» на выходе DD1, который соединен с входом переноса DD2 CI, передний фронт тактового импульса синхронно устанавливает DD1 в 0000, а содержимое DD2 увеличивает на 1. Т.е. если состояние DD2 было 0110, то синхронно с переключением DD1 из 1111 в 0000 D2 переключится в 0111.



Элементы R1 и C1 сбрасывают DD1 и DD2 в нулевое состояние при включении напряжения питания.

Входы DD1-DD4 ИМС D1 и D2 предназначены для записи в них начального значения, от которого пойдет счет импульсов. Это позволяет реализовать счетчик с произвольным коэффициентом деления входных импульсов. Запись данных по входам DD1-DD4 производится сигналом лог. «1» по входу PE, аналогично как в блок из D-триггеров. Чтобы счетчик производил подсчет импульсов по входу C, сигнал PE должен быть равен лог. «0». Если входы DD1-DD4 не планируется использовать, то их надо соединить с общим проводом источника питания.

Ни в каких устройствах на КМОП ИМС нельзя неиспользуемые входы ИМС оставлять «висеть в воздухе». Их надо обязательно подключить к «плюсу» или к общему проводу источника питания!

K561IE14 - 4-разрядный реверсивный счетчик. Работает аналогично **K561IE14**, однако вместо входа R (выв. 10) у него имеется вход выбора режима двоичный счетчик или двоично-десятичный. Если на выв. 10 счетчика подан лог. «0» - он работает как двоично-десятичный счетчик, если лог. «1» - как двоичный счетчик.

Дешифраторы

Как таковых специальных ИМС дешифраторов серии K561/K1561 нет, поскольку их функции могут быть выполнены ИМС коммутаторов K561КП1 и K561КП2.

Простейшие цифровые устройства. Часть 4

Андрей Белый

В этой статье цикла рассмотрены примеры использования КМОП ИМС для создания несложных цифровых устройств.

Применение КМОП ИМС

16-разрядный двоичный счетчик импульсов

Его удобно построить на 2 ИМС типа К561ИЕ10. Для этого надо включить последовательно 4 двоичных счетчика, входящих в состав двух таких ИМС (рис. 1).

Так как на входы «С» всех счетчиков подан лог «0», то счетчики срабатывают по заднему фронту импульса на входе СЕ. Каждый из счетчиков, входящих в состав К561ИЕ10, имеет состояния от 0000 до 1111, а два включенных последовательно счетчика ИМС DD1 (рис. 1), соответственно от 0000 0000 до 1111 1111.

После достижения состояния 1111 очередной счетный импульс переводит первый счетчик в состояние 0000, при этом на его выходе «8» образуется задний фронт импульса, который поступает на вход СЕ второго счетчика. Таким образом, состояние двух счетчиков с 0000 1111 изменяется на 0001 0000. То есть несмотря на то, что первый счетчик перешел в состояние 0000, тот факт, что он досчитал до 1111, запомнил второй счетчик. Аналогично работают и два счетчика, входящих в состав ИМС DD2.

Для того чтобы 16-разрядный счетчик считал сначала, перед началом работы надо разряды всех его счетчиков установить в состояние «0», т.е. счетчик должен начать работу с состояния 0000 0000 0000 0000. Однако при включении питающего напряжения на выходах счетчиков устанавливается произвольное состояние, например, 0111 1100

0101 1110. Поэтому в схеме имеются элементы R1 и С1, которые при включении питания формируют короткий положительный импульс на входах R всех счетчиков. Это обеспечивает установку всех разрядов счетчика в состояние «0» при включении питания. Наличие лог. «1» на выходе какого-либо разряда счетчика означает поступление на его вход определенного количества импульсов, как это показано на рис. 1. Суммировав количество импульсов, соответствующих «1», на выходах счетчика, получим число импульсов, поступивших на вход счетчика на данный момент.

Например, состояние 0100 1100 0001 1111 соответствует $16384+2048+1024+16+8+4+2+1=19490$ импульсам.

Напряжение питания +5... 15 В подают на выв. 16 ИМС DD1-DD2, а к общему проводу подключают выв. 8 МС DD1-DD2.

Бегущий «0» или «1»

На рис. 2 показано, как с помощью ИМС К561ИЕ10 (DD1) и К561 КР2 (DD2) организовать бегущий «0» или бегущую «1», в зависимости от того, какой потенциал лог. «0» или лог. «1» подан на вывод 3 ИМС К561КР2. Сигнал бегущий «0» или бегущая «1» получается на выводах 13, 14, 15, 12, 1, 5, 2 и 4 в указанной последовательности. То есть потенциал лог. «0» (или лог. «1» в зависимости от положения переключателя S1) будет перемещаться по выходам ИМС К561КР2 после поступления каждого очередного импульса на вход счетчика К561ИЕ10. При этом остальные 7 выходов ИМС К561КР2 будут оставаться в неактивном состоянии, т.е. на них не будет ни лог. «0», ни лог. «1».

Если Вам необходимо обеспечить на неактивных выходах ИМС К561КР2 какой-либо определенный потенциал (например, лог. «0» в схеме бегущая «1»), то выходы X1-X8 следует подключить к обще-

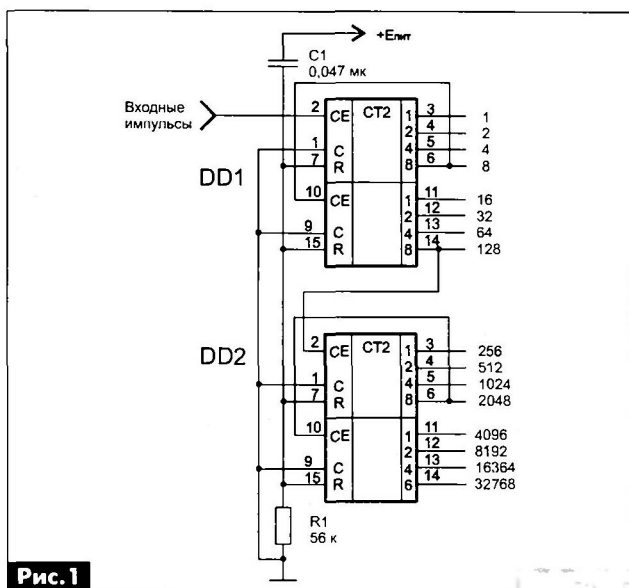


Рис. 1

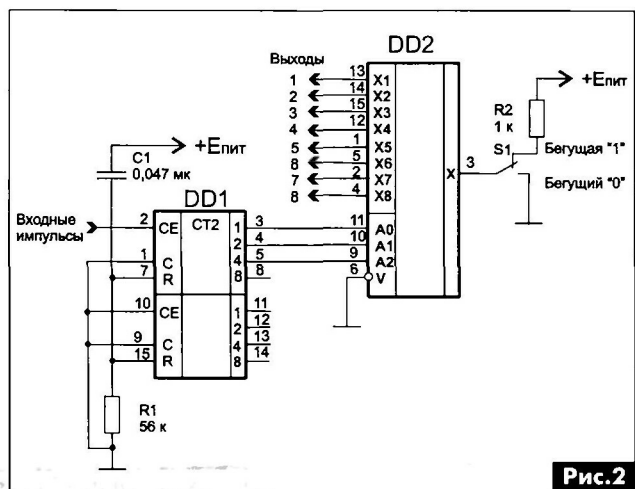


Рис. 2

му проводу устройства, каждый через резистор номиналом 4,7...10 кОм (на **рис.2** эти 8 резисторов не показаны). Если надо обеспечить на неактивных, в данный момент времени, выходах К561КП2 потенциал лог. «1», то их следует подключить к «+» источника питания, каждый через резистор номиналом 4,7...10 кОм.

Поскольку в состав ИМС К561ИЕ10 входит два 4-разрядных счетчика, а коммутатор К561КП2 рассчитан на управление 3-разрядным двоичным кодом, то для построения этого устройства используется только один счетчик из состава DD1 типа К561ИЕ10, а точнее, первые 3 разряда этого счетчика. Для того чтобы неиспользуемая в схеме вторая половина ИМС DD1 не оказывала влияние на работу устройства, ее входы С и СЕ (выв. 9 и 10) соединены с общим проводом устройства.

Как и в предыдущей схеме, цепь R1C1 используется для установки счетчика в исходное состояние 0000.

Переключателем S1 на вход X (выв. 3) ИМС К561КП2 подается либо сигнал лог. «0» (в нижнем положении S1), либо лог. «1» (в верхнем положении S1).

Для того чтобы коммутатор К561КП2 переключал сигнал с его входа X на выходы X1–X8, на его вход V подан сигнал лог. «0». Если этот вход К561КП2 подключить к выходу 4 разряда счетчика DD1 (выв. 6), то мы получим устройство, которое по первым 8 входным импульсам переключает состояние выходов К561КП2, а по следующим 8 - нет. Т.е. в течение следующих 8 импульсов, поступающих на вход ИМС К561ИЕ10, все 8 выходов DD3 будут находиться в неактивном состоянии. Затем вновь 8 импульсов будут переключать выходы К561КП2, а следующие 8 - нет. Если после этого к выходам К561КП2 подключить драйверы светодиодов, то можно получить необычную цветную иллюминацию. Но тут уже все определяется вашей выдумкой и желанием создать что-то необычное.

Напряжение питания +5...15 В подают на выв. 16 ИМС DD1-DD2, а к общему проводу подключают выв. 8 ИМС DD1-DD2.

Коммутатор для системы видеонаблюдения

В системах видеонаблюдения за частным домом или дачным участком обычно используется много видеокамер - 4–16 шт. Использовать для просмотра изображения с каждой видеокамеры отдельный монитор дорого и неудобно. Поэтому изображения с нескольких видеокамер выводятся на один монитор такими способами:

- одновременно (при этом каждой видеокамере отводится часть экрана монитора);
- последовательно - в случае, когда важно видеть все детали, отображаемые каждой видеокамерой.

Для случая последовательной передачи изображений с видеокамер на монитор пригодится устройство, показанное на **рис.3**. Оно предназначено для последовательного вывода на экран монитора сигналов до 8 видеокамер. Устройство позволяет коммутировать видеосигнал с амплитудой до 5 В (напряжение питания $\pm 7,5$ В) и изменять время просмотра каждой видеокамеры от 5 до 30 с.

Устройство состоит из следующих основных частей:

- задающий генератор на ИМС DD1;
- делитель частоты на ИМС DD2.2;
- счетчик, управляющий работой коммутатора DD2.1;
- » коммутатор видеосигнала DD3.

Задающий генератор

Он выполнен на трех инверторах ИМС DD1. В качестве DD1 можно использовать ИМС К561ЛН2, содержащую 6 инверторов, или ИМС типа «2И-НЕ» (К561ЛА7) или ИМС типа «2ИЛИ-НЕ» (К561ЛЕ5), элементы которых надо включить как инверторы. Для этого входы ИМС К561ЛА7 или К561ЛЕ5 надо соединить вместе, как показано на **рис.3**.

Задающий генератор работает следующим образом. При включении напряжения питания конденсатор С1 разряжен и при этом потенциал лог. «0» будет как на входе элемента DD1.1, так и на выходе элемента DD1.2. Таким образом, на выходе элемента DD1.3 (выв. 10 ИМС DD1) будет потенциал лог. «1». Это приведет к тому, что конденсатор С1 начнет заряжаться через резисторы R1 и R2. Заряд

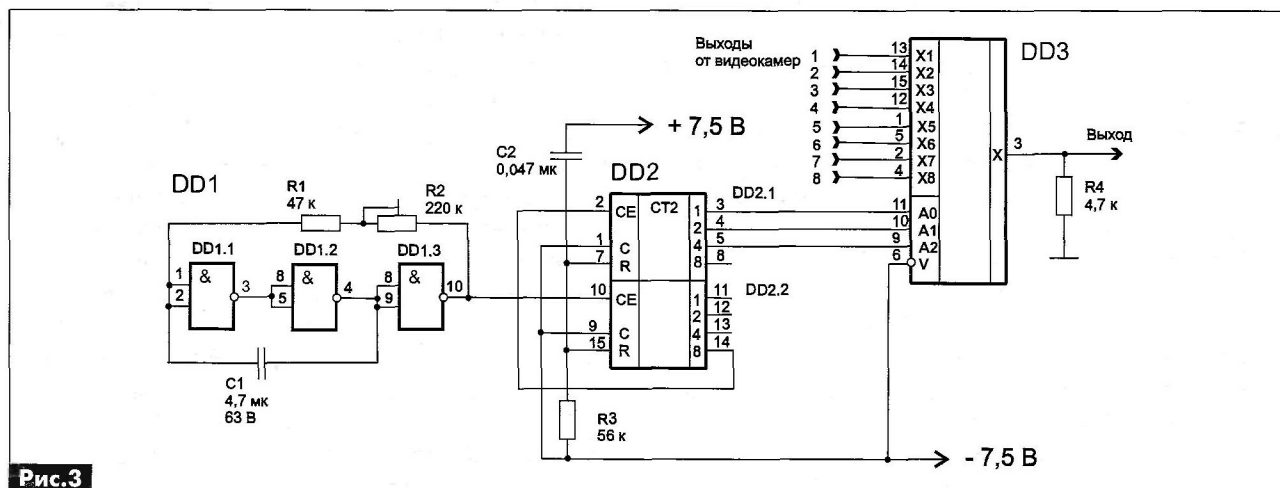


Рис.3

конденсатора С1 будет продолжаться до тех пор, пока напряжение на нем и, соответственно, на входе элемента DD1.1 (выв. 1 и 2) не превысит порогового уровня лог. «1», т.е. примерно половины величины напряжения источника питания. После переключения DD1.1 на его выходе (выв. 3), а соответственно и на входе DD1.2 будет потенциал лог. «0», т.е. на выходе DD1.2 и входе DD1.3 будет лог. «1». Элемент DD1.3 переключится, и на его выходе будет лог. «0». Таким образом начнется разряд конденсатора С1. Если его ток заряда тек от выв. 10 ИМС DD1 через R1 и R2 и далее через выв. 4 ИМС DD1 на общий провод, то ток разряда протекает в противоположном направлении: от левого по схеме вывода С1 через R1 и R2 и далее через выв. 10 ИМС DD1 на общий провод.

Длительность заряда конденсатора С1 определяется по формуле:

$$t=0,7 \cdot C1 \cdot (R1+R2).$$

А частота колебаний генератора на DD1:

$$F=1/2 \cdot [0,7 \cdot C1 \cdot (R1+R2)].$$

Пример расчета элементов задающего генератора

Для обеспечения частоты выходных импульсов DD1.2, управляющего работой коммутатора DD3, от 1/5 до 1/30 Гц (период переключения видеокамер 5...30 с) частота генератора должна быть в 16 раз выше (т.е. на коэффициент деления частоты счетчиком DD2), т.е. 3,2...0,53 Гц. Это достаточно низкая частота.

В целом следует избегать в своих разработках задающих генераторов, работающих на частотах менее нескольких кГц, поскольку их стабильность получается неудовлетворительной. Для получения хорошей стабильности частоты в генераторах используются специальные частотно-задающие электромеханические элементы, так называемые, кварцевые резонаторы. Однако такие резонаторы стабильно работают лишь на частотах выше 32 кГц (типовая частота для электронных часов) и выше. Это надо учитывать в своих разработках.

Вернемся к нашим расчетам. В RC-генераторах следует использовать термостабильные конденсаторы пленочного типа. Т.е. использовать в них оксидные (электролитические) и керамические конденсаторы с классом температурного коэффициента емкости (ТКЕ) Н30-Н90 категорически нельзя.

В данном случае выберем для использования в генераторе конденсатор типа К73-17 номиналом 4,7 мкФ 63 В, тогда, используя приведенную выше формулу частоты генератора, получим:

$$3,2 \text{ Гц} = 1 / (1,4 \cdot 4,7 \cdot 10^{-6} \cdot R1),$$

откуда получим $R=47,5 \text{ кОм}$.

$$0,53 \text{ Гц} = 1 / [1,4 \cdot 4,7 \cdot 10^{-6} \cdot (R1+R2)],$$

откуда $R1+R2=287 \text{ кОм}$.

Округляем значение R1 до ближайшего стандартного 47 кОм и получаем номинал переменного резистора R2 - $287-47,5=210 \text{ кОм}$. Округляем его до ближайшего стандартного 220 кОм.

Разумеется, что при использовании конденсатора С1 иного номинала получатся иные номиналы резисторов R1 и R2.

Делитель частоты

Он собран на «половинке» ИМС DD1-DD1.2 типа К561ИЕ10. Он обеспечивает деление частоты входных импульсов на 16, что необходимо для обеспечения достаточно «медленного» переключения счетчика DD2.1, управляющего работой коммутатора. Применение дополнительного делителя частоты вызвано тем, что создать стабильно работающий задающий генератор с низкой частотой переключения (1/5...1/30 Гц) достаточно сложно. Для обычного RC-генератора, схема которого показана на **рис.3**, без делителя частоты понадобились бы слишком большие номиналы резисторов и конденсаторов, что отрицательно сказалось бы на его временной и температурной стабильности.

Счетчик, управляющий работой коммутатора

Выполнен так же, как и счетчик в схеме бегущий «0» или бегущая «1», рассмотренной ранее.

Коммутатор видеосигнала

Выполнен на ИМС DD3 типа К561КП2. В данной схеме эта ИМС коммутирует сигналы, поступающие на ее входы X1-X8 на выход X. В каждый момент времени на выход X подключен тот входной сигнал, который задан состоянием счетчика DD2.1.

Поскольку на вход ИМС DD3 поступают не цифровые, а аналоговые видеосигналы, то между ее выходом X и общим проводом включен согласующий резистор R4. При использовании длинных коаксиальных кабелей связи видеокамер с коммутатором его необходимо дополнить согласующими резисторами номиналом 50...75 Ом (точный номинал зависит от типа примененного кабеля, и в первую очередь от его волнового сопротивления) которые включают между каждым из входов DD1 и общим проводом.

Питание устройства

Как уже отмечалось выше, для питания устройства необходим двухполярный источник напряжения величиной $\pm 7,5 \text{ В}$. При этом к +7,5 В подключают выв. 14 DD1 и выв. 16 DD2 и DD3.

К напряжению -7,5 В подключают выв. 7 DD1 и выв. 8 DD2 и DD3.

Работа устройства

Прямоугольные импульсы с выв. 10 DD1.3 поступают на вход СЕ счетчика DD2.2, который делит их на 16, т.е. на выходе 8 DD2.2 (выв. 14) частота импульсов будет в 16 раз меньше, чем частота импульсов задающего генератора. В данном случае она должна составлять от 1/5 до 1/30 Гц, чтобы обеспечить время просмотра каждой видеокамеры от 5 до 30 с. Длительность просмотра 5...30 с регулируют резистором R2, изменяющим частоту задающего генератора. При переключении DD1.1 на выход коммутатора DD3 последовательно подключают сигналы с 1-й, 2-й... 8-й видеокамеры. Затем цикл повторяется.