

Самосинхронизирующиеся коды и их преобразователи

(часть 1)

Сергей Гончаров, Олег Островский, Геннадий Шишкин (Нижегородская обл.)

Рассмотрены способы построения самосинхронизирующихся кодов с постоянной тактовой частотой при использовании фазовой, частотной и широтной манипуляции. Проведён сравнительный анализ кодов. Предложены схемотехнические решения кодирующих и декодирующих устройств широтноманипулированных кодов.

Для передачи информации по последовательным каналам связи широко используются самосинхронизирующиеся коды, которые не требуют дополнительных линий связи для тактовых сигналов.

Одним из способов построения самосинхронизирующихся кодов является увеличение скорости передачи сигналов по сравнению со скоростью передачи информации. Основными типами построенных таким образом кодов являются фазоманипулированный и частотноманипулированный коды [1].

При использовании фазоманипулированного кода лог. 1 представляется отрицательным перепадом сигнала в середине тактового интервала, а лог. 0 – положительным перепадом сигнала. При этом информационный перепад сигнала в середине тактового интервала является обязательным. Тактовый перепад сигнала в начале тактового интервала формируется только в том случае, когда в предыдущем и последующих тактах присутствует одинаковая информация. При этом, если в обоих тактах передаётся состояние лог. 0, формируется отрицательный перепад сигнала, а при передаче состояний лог. 1 – положительный перепад сигнала. Следовательно, тактовый перепад сигнала является необязательным и может иметь любое из двух направлений.

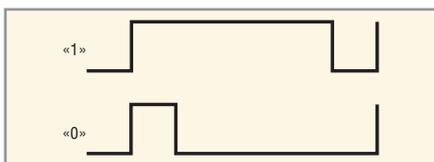


Рис. 1. Элементы кодов ШМ-ПЧ

Кроме того, тактовый перепад не формируется в начале информационной посылки, если в первом такте передаётся сигнал лог. 0. Указанное свойство фазоманипулированного кода требует передачи признака начала кодовой последовательности, например, в виде специального стробирующего импульса, временные параметры которого должны отличаться от параметров фазоманипулированного кода, что усложняет схемную реализацию кодирующих и декодирующих устройств [2, 3].

При использовании частотноманипулированного кода лог. 1 представляется перепадом сигнала в середине тактового интервала. Перепад сигнала может быть как положительным, так и отрицательным. Лог. 0 представляется отсутствием изменения сигнала в середине тактового интервала. Следовательно, информационный перепад является необязательным. При этом тактовый перепад сигнала является обязательным, но может быть как положительным, так и отрицательным.

Различные варианты фазоманипулированного и частотноманипулированного кодов и способы построения кодирующих и декодирующих устройств рассмотрены в [4, 5].

Кроме фазовой и частотной манипуляции, для построения самосинхронизирующихся кодов можно использовать широтноимпульсную (широтную) манипуляцию.

Основным вариантом широтноманипулированного кода можно считать код с постоянной тактовой частотой (ШМ-ПЧ), элементы которого показаны на рисунке 1. При этом так-

товый перепад положительной полярности формируется в начале каждого тактового интервала, информационный тактовый перепад отрицательной полярности формируется внутри тактового интервала. Оба перепада являются обязательными. При передаче лог. 0 информационный перепад формируется в первой половине тактового интервала, а при передаче лог. 1 – во второй половине тактового интервала.

Кодирующее устройство ШМ-ПЧ может быть построено на основе двух формирователей импульсов с фиксированной длительностью, работающих на один выход, или одного формирователя импульсов с изменяемой (коммутируемой) длительностью. Формирователи импульсов фиксированной длительности можно включать параллельно или последовательно. В первом случае один формирователь обеспечивает формирование сигнала лог. 0, а второй – формирование сигнала лог. 1 в соответствии с рисунком 1.

При этом возможны три варианта схемы управления формирователями. Во-первых, в каждом такте можно запускать с помощью демультиплексора один из двух формирователей, в зависимости от входной информации. Во-вторых, в каждом такте можно запускать формирователь сигнала лог. 0, а при наличии на информационном входе сигнала лог. 1 одновременно запускать второй формирователь. В-третьих, в каждом такте можно одновременно запускать оба формирователя, а при наличии на информационном входе сигнала лог. 0 запрещать прохождение на выход импульса формирователя сигнала лог. 1. Необходимо отметить, что для нормального функционирования первых двух вариантов кодирующего устройства сигнал на информационном входе должен поступать не позднее сигнала на тактовом входе.

При последовательном включении один формирователь обеспечивает формирование сигнала лог. 0, а второй – формирование сигнала, длительность которого равна разности сигналов лог. 1 и лог. 0 на рисунке 1. При этом возможны два варианта схемы управления. В обоих вариантах в каждом такте запускается формирователь сигнала лог. 0. В первом варианте формирователь сигнала лог. 1 запускается по срезу импульса первого формирователя при наличии на информационном входе сигнала лог. 1. Во втором варианте формирователь сигнала лог. 1 запускается в каждом такте по срезу импульса первого формирователя, но при наличии на информационном входе сигнала лог. 0 запрещается прохождение сформированного сигнала на выход кодирующего устройства.

Поскольку формирователи импульсов с фиксированной длительностью являются частным случаем формирователей с коммутируемой длительностью, их схемная реализация не рассматривается.

Формирователи импульсов с коммутируемой длительностью можно построить на основе цифровых элементов задержки в виде регистра сдвига или счётчика импульсов. При этом изменение длительности формируемого импульса можно производить по входу или по выходу элемента задержки. В первом случае изменяется код начального состояния элемента задержки по тракту параллельной загрузки, а код конечного состояния остаётся неизменным. Недостатком данного варианта является усложнение алгоритма работы формирователя и его схемной реализации из-за необходимости записи кода начального состояния до запуска формирователя. Во втором случае задаётся необходимый код конечного состояния элемента задержки, после которого элемент задержки сбрасывается в исходное состояние. Код конечного состояния может задаваться после запуска формирователя в течение времени, не превышающего длительность импульса лог. 0.

Пример схемной реализации соответствующего кодирующего устройства ШМ-ПЧ на основе регистра сдвига показан на рисунке 2а. Схема содержит вход последовательных данных D, выход последовательных данных QD, вход запуска S, на кото-

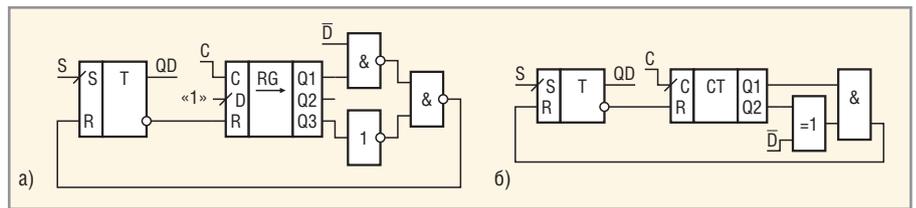


Рис. 2. Трёхходовые кодирующие устройства на основе регистра (а) и счётчика (б)

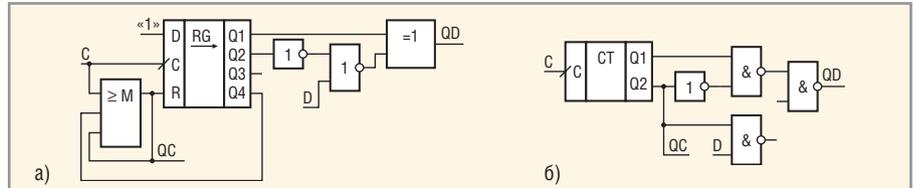


Рис. 3. Двухходовые кодирующие устройства на основе регистра (а) и счётчика (б)

рый подаются тактовые сигналы с периодом повторения T_T , и вход сдвига C, на который подаются сигналы с периодом $T_C = T_T/4$. Сигналы запуска и сдвига жёстко привязаны по фазе с помощью двоичного делителя частоты. Частота импульсов сдвига выбрана минимальной для уменьшения разрядности регистра сдвига.

В режиме ожидания триггер находится в состоянии лог. 0 и запрещает работу регистра сдвига. При поступлении сигнала запуска триггер переключается в состояние лог. 1 и разрешает работу регистра сдвига. С задержкой $T_C = T_T/4$ переключается в состояние лог. 1 первый разряд Q1 регистра. Если на D-входе присутствует информация лог. 0, то сигнал Q1 проходит на R-вход триггера и переключает его в состояние лог. 0, формируя на выходе QD сигнал лог. 0, соответствующий рисунку 1. Если на входе D присутствует сигнал лог. 1, переключение триггера в состояние лог. 0 производится с задержкой $3T_T/4$ сигналом с выхода третьего разряда регистра. При поступлении последующих сигналов запуска кодирующее устройство работает таким же образом.

Аналогичная схема кодирующего устройства на основе счётчика импульсов показана на рисунке 2б. На счётный вход C данной схемы (аналогично рис. 2а) подаются сигналы с периодом повторения $T_C = T_T/4$.

В схемах на рисунке 2 используются два входа взаимосвязанных сигналов с периодом повторения T_T и $T_T/4$, а элемент задержки формирует сигналы с задержкой $T_T/4$ и $3T_T/4$. В принципе данный элемент задержки можно использовать и для формирования сигналов с периодом повторения T_T . При этом исчезает необходимость в спе-

циальном внешнем делителе частоты для формирования сигналов с периодом T_T , что уменьшает схемные затраты. Соответствующая схема кодирующего устройства на основе регистра сдвига показана на рисунке 3а; по сравнению с рисунком 2а исключён вход запуска и введён выход QC сигналов с периодом повторения T_T . При отсутствии сигналов сдвига на входе C регистр находится в состоянии лог. 0.

При поступлении на вход C сигналов сдвига положительной полярности с периодом $T_T/4$ разряды регистра последовательно устанавливаются в состояние лог. 1. При переключении четвёртого разряда заканчивается первый тактовый интервал, и мажоритарный элемент устанавливается в лог. 1 на время действия импульса сдвига, сбрасывая все разряды регистра в лог. 0. Одновременно импульс с выхода мажоритарного элемента с периодом T_T поступает на выход QC и обеспечивает смену информации на входе D.

В каждом тактовом интервале при переключении первого разряда регистра в состояние лог. 1 формируется положительный перепад сигнала на выходе QD. При наличии на входе D сигнала лог. 0 положительный импульс на выходе QD заканчивается при переключении в состояние лог. 1 второго разряда регистра. При наличии на входе D сигнала лог. 1 положительный импульс на выходе QD заканчивается при сбросе первого разряда регистра. По количеству используемых элементов схема, показанная на рисунке 3а, не сложнее схемы рис. 2а.

Достаточно простые варианты кодирующих устройств могут быть реализованы и на основе двухразряд-

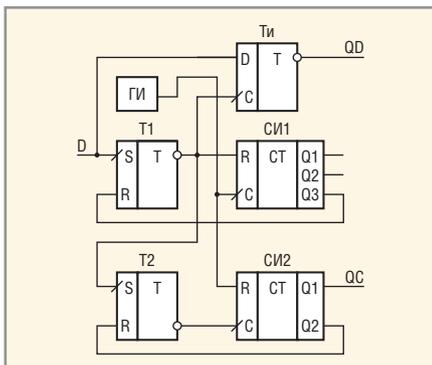


Рис. 4. Декодирующее устройство

ного счётчика импульсов. При этом алгоритм функционирования кодирующих устройств описывается таблицей, где Q1 и Q2 – состояния соответственно первого и второго разрядов счётчика. Из таблицы видно, что:

$$QD = Q1\overline{Q2}D + Q1Q2\overline{D} + \overline{Q1}Q2D + Q1Q2D.$$

Минимизация данного выражения может дать три результата:

$$QD = \overline{D}(\overline{Q1} + Q2) + D(\overline{Q1}Q2); \quad (1)$$

$$QD = DQ2 + Q1\overline{Q2}; \quad (2)$$

$$QD = \overline{\overline{DQ2}(\overline{Q1}Q2)}. \quad (3)$$

Выражения (1) и (2) предполагают схемную реализацию кодирующего устройства с использованием двухвходовых мультиплексоров. Однако более простая схемная реализация соответствует выражению (2). При этом управляющий вход мультиплексора подключается к выходу второго разряда счетчика [6, 7].

Схемная реализация кодирующего устройства, соответствующая выражению (3), приведена на рисунке 3б. При поступлении на вход С тактовых сигналов положительной полярности с периодом $T_T/4$ происходит переключение счётчика. В начале каждого тактового интервала при переключении первого разряда счётчика

Алгоритм функционирования кодирующего устройства

D	Q1	Q2	QD
0	1	0	1
0	0	1	0
0	1	1	0
0	0	0	0
1	1	0	1
1	0	1	1
1	1	1	1
1	0	0	0

в состояние лог. 1 на выходе QD устанавливается состояние лог. 1. При наличии на входе D сигнала лог. 0 положительный импульс на выходе QD заканчивается через время $T_T/4$ при переключении первого и второго разрядов счётчика в состояние лог. 0 и лог. 1 соответственно. При наличии на входе D сигнала лог. 1 положительный импульс на выходе QD заканчивается через время $3T_T/4$ при переключении первого и второго разрядов счётчика в состояние лог. 0. При этом в каждом тактовом интервале на выходе QC формируется отрицательный перепад сигнала, который обеспечивает смену информации на входе D.

Для декодирования кода ШМ-ПЧ необходимо сформировать задержанный импульс положительной полярности во второй половине тактового интервала. При этом возможны два варианта схемной реализации декодирующего устройства. В первом варианте [8] можно производить опрос состояния выходного сигнала формирователя по срезу входного информационного сигнала (см. рис. 1). Однако в этом случае тактовая частота выходных сигналов декодирующего устройства будет переменной. Во втором варианте [9] производится опрос состояния входного информационного сигнала фронтом сформированного импульса в середине тактового интервала. Схемная реализация такого декодирующего устройства приведена на рисунке 4.

Формирователь задержанного положительного импульса выполнен на триггере Т1 и счётчике СИ1 аналогично рисунку 2б. На элементах Т2 и СИ2 выполнен формирователь выходного тактового сигнала QC. В режиме ожидания триггеры и счётчики находятся в состоянии лог. 0. Генератор ГИ формирует последовательность импульсов с периодом повторения $T_T/8$.

При поступлении сигнала на информационный вход D запускается формирователь задержанного импульса, по фронту которого опрашивается состояние информационного входа триггером ТИ. Одновременно запускается формирователь тактовых сигналов, который выдаёт на выход QC сигнал длительностью $T_T/8$ с задержкой $T_T/8$ и постоянной частотой.

Таким образом, широтноманипулированный код ШМ-ПЧ отличается наличием в каждом тактовом ин-

тервале двух обязательных перепадов сигнала: положительного тактового перепада в начале интервала и отрицательного информационного перепада в одном из двух фиксированных положений внутри интервала. Это позволяет реализовать достаточно простые кодирующие и декодирующие устройства, которые могут использоваться при построении последовательных каналов связи. Кроме того, наличие обязательных перепадов сигнала создаёт предпосылки для повышения помехоустойчивости каналов связи путём выявления возможных нарушений структуры кода под действием внешних помех.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевкопляс Б.В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения: Справочник. Радио и связь, 1990.
2. Патент 2159988 РФ, МКИ Н03М5/12. Преобразователь бинарного кода в фазоманипулированный код. А.А. Курочкин, А.П. Мартынов, Г.И. Шишкин. Изобретения. Полезные модели. 2000. № 3.
3. Патент 2163418 РФ, МКИ Н03М5/12. Преобразователь фазоманипулированного кода в бинарный код. А.А. Курочкин, А.П. Мартынов, С.В. Панкратов, В.Н. Фомченко, Г.И. Шишкин. Изобретения. Полезные модели, 2001, №5
4. Климов В.П., Казанов И.М., Вишняков И.Л. Кодирующие устройства оптических каналов. Электронная техника в автоматике, Сборник статей п/ред. Ю.И. Конева. Радио и связь, 1985. Вып. 16. С. 257–264.
5. Климов В.П., Казанов И.М., Вишняков И.Л. Структуры декодирующих устройств оптических каналов. Электронная техника в автоматике, Сборник статей под ред. Ю.И. Конева. Радио и связь, 1986. Вып. 17. С. 254–262.
6. Патент 2253944 РФ, МКИ Н03М5/12. Преобразователь кода. А.А. Курочкин, Г.И. Шишкин. Изобретения. Полезные модели. 2005. № 16.
7. Патент 2259009 РФ, МКИ Н03М5/12. Преобразователь кода. А.А. Курочкин, Г.И. Шишкин, В.В. Шубин. Изобретения. Полезные модели. 2005. № 23.
8. Патент 2274949 РФ, МКИ Н03М5/12. Преобразователь кода. А.А. Курочкин, Г.И. Шишкин, В.В. Шубин. Изобретения. Полезные модели. 2006. № 11.
9. Патент 2249911 РФ, МКИ Н03М5/12. Преобразователь кода. А.А. Курочкин, Г.И. Шишкин. Изобретения. Полезные модели. 2005. № 10.

