О МЕТОДАХ ПОСТРОЕНИЯ СМЕННОПОСЫЛОЧНОГО НЕПРИВОДИМОГО КОДА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Ф. А. Катков
Киев

При использовании сменнопосылочного неприводимого кода в асинхронных системах передачи данных возможным источником ошибок являются переходные процессы при смене частот в соседних многочастотных посылках. Например, если за двухчастотной посылкой f_1f_2 следует посылка f_3f_4, то при смене частот возникают следующие ложные комбинации: f_1f_3; f_1f_4; f_2f_3; f_2f_4, которые могут быть зафиксированы приемником. Поэтому представляют значительный интерес методы построения кода, исключающие ошибки такого рода.

Рассматриваемые методы построения неприводимого сменнопосылочного кода основываются на разделении рабочих частот на группы и соответствующем выборе кодовых комбинаций. Наиболее простым методом является разделение частот на две группы и использование комбинаций частот внутри каждой группы для образования первой и второй посылок. Комбинирование частот между группами запрещается. Это вносит определенную избыточность. Ясно, что при таком методе построения кодовых комбинаций переходные процессы будут затухать до поступления очередной многочастотной посылки, так как частоты первой и второй группы используются последовательно во времени.

Число кодовых комбинаций

$$M = C^{m_ч}_{n_{ч_1}} C^{m_ч}_{n_{ч_2}}, \tag{1}$$

где $n_{ч_1}$ и $n_{ч_2}$ — количество частот в первой и второй группе;
$m_ч$ — количество частот в одной посылке.

Максимальное количество кодовых комбинаций получается при

$$n_{ч_1} = n_{ч_2} = \frac{n_ч}{2}, \tag{2}$$

где $n_ч$ — общее количество используемых частот.

Из (1) и (2) имеем

$$M_{max} = \left(C^{m_ч}_{\frac{n_ч}{2}}\right)^2. \tag{3}$$

Однако практически от этого условия приходится отступать, так как для упрощения дешифратора необходимо, чтобы количество комбинаций в группах было равно или больше 2^{n_1} и 2^{n_2}, где n_1 и n_2 — число разрядов двоичного кода, выбираемых первой и второй посылкой. Например, при $m_ч = 2$ и $n_ч = 8$

$$M_{max} = (C^2_{8/2})^2 = 6^2 = 36.$$

Но поскольку $C^2_{8/2} = 6$, можно использовать только $2^4 = 16$ кодовых комбинаций. Следовательно, необходимо увеличить $n_ч$ до 9 и брать в первой группе $n_{ч_1} = 4$, а во второй $n_{ч_2} = 5$. Тогда

$$M = C^2_4 C^2_5 = 60.$$

При этом можно использовать только $2^2 \cdot 2^3 = 2^5$ комбинаций.

При другом методе построения сменнопосылочного неприводимого кода разрешается комбинирование только между группами. Следовательно, многочастотные посылки будут содержать по одной частоте каждой группы. Количество посылок, передаваемых последовательно, выбирается равным двум и более. При таком методе построения кода соблюдаются следующие условия:

1. Количество частот в посылке равно числу групп

$$m_ч = n_{гр},$$

которое выбирается равным двум (двухчастотные посылки).

2. Количество посылок в кодовой комбинации равно числу частот в группе

$$n_в = n_{ч\,гр},$$

которое выбирается равным для всех групп.

3. Общее количество используемых частот

$$n_ч = n_{гр} n_{ч\,гр} = 2n_{ч\,гр}.$$

Для построения кодовых комбинаций используется табличный метод. Количество горизонтальных и вертикальных строк в таблице берется равным числу частот в группе $n_{ч\,гр}$ и, следовательно, числу посылок в кодовой комбинации.

Порядок заполнения таблицы покажем на примере при $n_{гр} = 2$ и $n_{ч\,гр} = 3$. Всего частот $n_ч = 2 \cdot 3 = 6$. К первой группе относятся частоты 1, 2 и 3, а ко второй — 4, 5 и 6.

Таблица 1

Комбинации частот в посылках			Номер посылки
14	25	36	1
15	26	34	2
16	24	35	3

Порядок заполнения таблицы при $n_{гр} = 2$.

1. В горизонтальных строчках записываем частоты первой группы по порядку.

2. В первой горизонтальной строчке дописываем частоты второй группы по порядку.

3. В последующих горизонтальных строчках дописываем частоты второй группы с циклическим сдвигом на одну частоту.

Кодовые комбинации получаем путем комбинирования посылок.

Всего кодовых комбинаций

$$M = (n_{ч\,гр})^{n_{ч\,гр}}. \qquad (4)$$

При $n_{гр} = 2$ и $n_{ч\,гр} = 3$ $M = 3^3 = 27$ комбинаций типа 14, 26, 35.

Такое построение кода исключает возможность приема ложных комбинаций на границе переходов. Например, при переходе частот 14 в 26 ложные комбинации следующие: 12, 46, 16, 24. Однако комбинации 12 и 46 относятся к частотам одной группы и вообще не используются, а комбинации 16 и 24 не используются во второй посылке.

Следует отметить, что допускаются перестановки строк в таблице и использование только части комбинаций (исключение строк). Количество комбинаций такого укороченного кода определяется из выражения

$$M = (n_{ч\,гр})^{n_в}, \qquad (5)$$

где $n_в$ — принятое количество посылок в кодовой комбинации, не равное $n_{ч\,гр}$.

Для систем передачи данных более подходящим является вариант, в котором $n_{гр} = 2$ и $n_{ч\,гр} = 4$ (табл. 2).

Таблица 2

Разряды двоичного кода	Комбинации частот в посылках				Номер посылки
	10	11	01	00	
1 — 2	15	26	37	48	1
3 — 4	16	27	38	45	2
5 — 6	17	28	35	46	3
7 — 8	18	25	36	47	4

Всего кодовых комбинаций

$$M = 4^4 = 256,$$

что соответствует восьми двоичным разрядам. Следовательно, каждая посылка служит для передачи двух двоичных разрядов. Например, восьмиразрядное двоичное число 10011101 будет передаваться кодовой комбинацией 15, 38, 28, 36.

Необходимо отметить, что из рассмотренных методов построения сменнопосылочного неприводимого кода предпочтительнее второй, так как в этом случае может быть получено бо́льшее количество кодовых комбинаций при том же числе частот. Кроме того, эти кодовые комбинации отличаются между собой не менее чем двумя частотами, что уменьшает вероятность их преобразования.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ В ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В. В. Маслов

Киев

Скорость передачи дискретной информации в частотно-временных системах при переменной длительности сигналов можно повысить путем использования статистического кодирования, которое позволяет сократить среднюю длительность кодовой комбинации на знак передаваемого сообщения, если учитывать при кодировании статистические характеристики последнего.

В связи с тем, что затягивание переходного процесса для сигналов, содержащих разные частотные составляющие, различно, дополнительное замедление при частичном выравнивании фазовой характеристики для каждой посылки

$$\Delta t'_п = t'_{р\,макс} - t'_{р\,мин},$$

где $t'_{р\,макс}$ и $t'_{р\,мин}$ — предельные значения времени распространения частотных составляющих посылки.