ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Ю. П. Жураковский, В. В. Маслов

Киев

Помехоустойчивость систем передачи дискретной информации с обратной связью можно повысить, используя помехоустойчивое кодирование. Повышение же помехоустойчивости кодов достигается в основном в результате увеличения избыточности. В отличие от временных систем, где увеличение избыточности кодов отрицательно сказывается на скорости передачи, в частотно-временных системах скорость передачи уменьшается незначительно. Это объясняется сохранением количества посылок в кодовой комбинации без изменения.

В частотно-временных системах передачи, как правило, используется неприводимый сменнопосылочный код [1]. Вероятность возникновения ошибки в таких системах определится [2] следующим образом.

1. Для систем с решающей обратной связью (РОС) при квитировании кодовых комбинаций «в целом»

$$P_{ош} = n_в m_ч S_1 P_{пэ} P_{лэ} [1 + m_ч P_{пэ} + (n_ч - m_ч) P_{лэ}] \approx$$
$$\approx n_в m_ч S_1 P_{пэ} P_{лэ}, \qquad (1)$$

где $n_в$ — количество посылок в кодовой комбинации;

$m_ч$ — количество частотных сигналов в посылке;

S_1 — коэффициент взаимных переходов, который оценивается количеством взаимных переходов одной посылки в другую при подавлении сигнала на одной частотной позиции и одновременном появлении частоты на другой разрешенной частотной позиции;

$P_{пэ}$ — вероятность подавления элементарного сигнала;

$P_{лэ}$ — вероятность ложного срабатывания на какой-либо из частотных позиций.

2. Для системы с решающей обратной связью при квитировании каждой посылки кодовой комбинации

$$P_{ош} = m_ч S_1 P_{пэ} P_{лэ} [n_в + m_ч P_{пэ} + (n_ч - m_ч) P_{лэ}] \approx n_в m_ч S_1 P_{пэ} P_{лэ}. \qquad (2)$$

Для повышения помехоустойчивости систем передачи необходимо уменьшить коэффициент взаимных переходов S_1, так как остальные сомножители в выражениях (1) и (2) ограничены. Этого можно достичь, увеличивая избыточность кода. Чем больше она, тем больше возможность подобрать такие сочетания частот для образования посылок кодовых комбинаций, коэффициент взаимных переходов в которых был бы равен нулю или близок к нему. При построении комбинаций неприводимого сменнопосылочного кода сочетания из $n_ч$ используемых частотных позиций по $m_ч$ частот в каждой посылке должны быть разбиты на группы, количество которых равно числу посылок $n_в$, составляющих кодовую комбинацию. Коэффициент взаимных переходов S при равновероятном использовании сочетаний определится из выражения

$$S = \frac{\sum_{1}^{n_в} S_c}{n_c}, \qquad (3)$$

где S_c — количество взаимных переходов на каждое сочетание;

n_c — количество сочетаний в группе.

Так, например, для передачи цифровой информации, в отличие от передачи алфавитно-цифровой, требуется всего десять кодовых комбинаций. При $n_в = 2$, $m_ч = 2$ и $n_ч = 5$ из всех возможных десяти сочетаний можно образовать две группы сочетаний, количество взаимных переходов в которых было бы минимальным: I группа: 1,2; 2,3; 4,5; II группа: 1,3; 1,4; 2,4; 3,5, где 1,2 и т. д. — сочетания, образованные частотными позициями.

Если для образования первой посылки кодовой комбинации используется первая группа сочетаний, а для передачи второй посылки — вторая, то коэффициент взаимных переходов

$$S = \frac{S' + S''}{n_в}, \qquad (4)$$

где S' и S'' — соответственно количество взаимных переходов при приеме первой и второй посылок.

Результаты вычислений коэффициента взаимных переходов S_1 сведены в табл. 1. Подставив полученные значения S_1 в (1) и (2), получим вероятность возникновения ошибки при передаче цифровой информации

$$P_{ош} = 1{,}08\ n_в m_ч P_{пэ} P_{лэ}$$

или, приняв значения $n_в = 2$, $m_ч = 2$ и $P_{пэ} = P_{лэ} = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ [3], получим

$$P_{ош} \approx 1 \cdot 10^{-6}.$$

Таблица 1

S_1'	S_1''	$S_1' + S_1''$	S_1
0,66	1,5	2,16	1,08

Таблица 2

$n_ч$	S_1
5	1,08
6	0,5
7	0,25

Значение S_1 при использовании для образования сочетаний различного числа рабочих частот $n_ч$ будет соответствовать значениям, приведенным в табл. 2. При $n_ч = 8$ можно получить $S_1' = S_1'' = 0$. В этом случае вероятность возникновения ошибки практически сводится к нулю,

теоретически вычисляется для систем с РОС при квитировании кодовой комбинации «в целом»

$$P_{ош} = n_в m_ч \left\{ \left(S_1 P_{пэ} P_{лэ} + \frac{1}{2} S_2 P_{пэ}^2 P_{лэ}^2 + \ldots + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \frac{1}{m_ч} S_{m_ч} P_{пэ}^{m_ч} P_{лэ}^{m_ч} \right) [1 + m_ч P_{пэ} + (n_ч - m_ч) P_{лэ}] \right\}, \quad (5)$$

а для систем с РОС при квитировании каждой посылки кодовой комбинации

$$P_{ош} = m_ч \left\{ \left(S_1 P_{пэ} P_{лэ} + \frac{1}{2} S_2 P_{пэ}^2 P_{лэ}^2 + \ldots + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \frac{1}{m_ч} S_{m_ч} P_{пэ}^{m_ч} P_{лэ}^{m_ч} \right) [n_в + m_ч P_{пэ} + (n_ч - m_ч) P_{лэ}] \right\}. \quad (6)$$

Здесь $S_2, S_3, \ldots, S_{m_ч}$ — коэффициент взаимных переходов, который оценивается количеством взаимных переходов одной посылки в другую при подавлении сигналов на $q_ч$ частотных позициях (где $q_ч = 2, 3, \ldots, m_ч$) и одновременном появлении частот на $q_ч$ частотных позициях.

При $n_в = m_ч = q_ч = 2$ и $S_1 = 0$ выражения (5) и (6) соответственно запишутся

$$P_{ош} = 2S_2 P_{пэ}^2 P_{лэ}^2 [1 + 2P_{пэ} + (n_ч - 2) P_{лэ}], \quad (7)$$

$$P_{ош} = S_2 P_{пэ}^2 P_{лэ}^2 [2 + 2P_{пэ} + (n_ч - 2) P_{лэ}]. \quad (8)$$

Для нахождения $P_{ош}$ из (7) и (8) необходимо определить количество взаимных переходов передаваемых сочетаний частот первой и второй посылок в другие сочетания (посылки) и вычислить коэффициент S_2.

Аналогично можно определить вероятность возникновения ошибки в системах передачи алфавитно-цифровой информации (32 знака) и данных (128 знаков) при $n_в = 2$ и $m_ч = 2$.

Значения коэффициента S_1 для разного количества $n_ч$ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Количество знаков	$n_ч$	S_1	Количество знаков	$n_ч$	S_1
32	6	2,16	128	8	3,87
	7	1,62		10	2,7
	8	1,4		12	1,91
	9	0,87		14	1,67
	10	0,65		16	1,5
	11	0,33		20	0,46
	12	0		24	0

При выборе количества частот $n_ч$ необходимо помнить, что чрезмерное увеличение $n_ч$ ведет к уменьшению скорости передачи информации из-за необходимости сужения полосы пропускания полосовых фильтров, используемых в приемнике для выделения частотных сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. А. Катков. Телеуправление. Изд-во «Техника», Киев, 1967.

2. Ф. А. Катков, Ю. П. Жураковский. Построение и помехоустойчивость адаптивных частотно-временных систем передачи дискретной информации. Сб. «Приборы и системы автоматики», вып. 17. Изд-во ХГУ, Харьков, 1971.

3. В. В. Маслов. Выбор структуры системы передачи информации. Сб. «Электросвязь и передача данных», НТОРЭС им. А. С. Попова, Киев, 1967.