

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТНО-КОМБИНАЦИОННЫМ И ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫМ КОДАМИ

*В. С. Дидык*

Киевский политехнический институт

Эффективность передачи сообщений может быть оценена показателем, который характеризует степень использования канала связи. Таким показателем принято считать относительную скорость передачи информации [1].

$$R_F = \frac{\log N}{TF}, \quad (1)$$

где  $N$  — количество кодовых комбинаций;

$\log N$  — количество информации при  $p = \frac{1}{N}$ ;

$T$  — время, необходимое для передачи кодовой комбинации;

$F$  — полоса частот.

Поскольку шум квантования для дискретных систем

$$\beta = \frac{1}{2N}, \quad (2)$$

то выражение (1) можно переписать в виде

$$R_F = \frac{\log \frac{1}{2\beta}}{TF} = -\frac{\log 2\beta}{TF}. \quad (3)$$

Погрешность дискретности  $\beta$  для различных кодов может быть вычислена из выражения

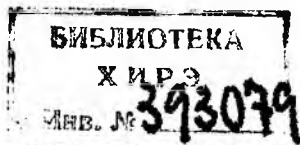
$$\beta = \frac{1}{2C_x}, \quad (4)$$

где  $C_x$  — любой частотно-комбинационный или частотно-временный код.

Определим относительную скорость передачи для различных типов частотных кодов, удобных для телеизмерения. Для частотно-комбинационного кода  $C_{nr}^m$  при одинаковой полосе пропускания из  $n_r$  избирателей

$$F_c = \frac{F}{k_r \cdot n_r}, \quad (5)$$

где  $k_r$  — коэффициент, учитывающий разнос частот.



Минимальное допустимое время передачи

$$T_{\min} = \frac{1}{2F_r} = \frac{k_r \cdot n_r}{2F}. \quad (6)$$

Отсюда полоса частот

$$F = \frac{k_r \cdot n_r}{2T_{\min}}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (3), получим, что относительная скорость передачи информации для кода  $C_{n_r}^{m_r}$  может быть определена из выражения

$$R_F' = -2 \frac{\log 2\beta}{k_r n_r} \cdot \frac{T_{\min}}{T}. \quad (8)$$

Для группового частотно-комбинационного кода  $n_r$  (гр)  $C_{n_r}^{m_r}$  с параллельной во времени посылкой частот

$$F_r = \frac{F}{k_r (n_r + n_{r(\text{гр})})}. \quad (9)$$

Минимальное допустимое время передачи

$$T_{\min} = \frac{1}{2F_r} = \frac{k_r (n_r + n_{r(\text{гр})})}{2F}. \quad (10)$$

Полоса частот

$$F = \frac{k_r (n_r + n_{r(\text{гр})})}{2T_{\min}}. \quad (11)$$

Относительная скорость передачи информации

$$R_F^{(2)} = -2 \frac{\log 2\beta}{k_r (n_r + n_{r(\text{гр})})} \cdot \frac{T_{\min}}{T}. \quad (12)$$

Для группового частотно-комбинационного кода  $n_r$  (гр)  $C_{n_r}^{m_r}$  с последовательной передачей двух посылок, без интервала между ними можно записать, что

$$T_{\min} = \frac{1}{F_r} = \frac{k_r (n_r + n_{r(\text{гр})})}{F}. \quad (13)$$

Относительная скорость передачи

$$R_F^{(3)} = -\frac{\log 2\beta}{k_r (n_r + n_{r(\text{гр})})} \cdot \frac{T_{\min}}{T}. \quad (14)$$

Полный сменнопосылочный код на сочетания

$$N = C_{C_{n_r}^{m_r}}^n$$

образуется с помощью  $n$  посылок, заполненных  $m_r$  из  $n_r$  частот, которые передаются без временного интервала.

Для такого кода можно записать

$$F_r = \frac{F}{k_r n_r}; \quad (15)$$

$$T_{\min} = \frac{n}{2F_r} = \frac{nk_r n_r}{2F}. \quad (16)$$

Соответственно относительная скорость передачи информации

$$R_F^{(4)} = -\frac{2 \log 2\beta}{nk_r n_r} \cdot \frac{T_{\min}}{T}. \quad (17)$$

Десятичный частотно-комбинационный код образуется из простейшего частотно-комбинационного кода  $C_{n_r}^{m_r}$  при  $m_r = 2$  и  $n_r = 5$  и передается в канал связи с помощью  $n$  посылок с временным интервалом между ними.

Здесь также

$$F_r = \frac{F}{k_r n_r}. \quad (18)$$

Минимальная длительность одной двухчастотной посылки

$$T_{\min (1)} = \frac{1}{2F_r} = \frac{k_r \cdot n_r}{2F}. \quad (19)$$

Приняв интервал между посылками

$$T_{\text{паузы}} = T_{\min (1)} = \frac{k_r n_r}{2F}, \quad (20)$$

можно записать, что минимальное время прохождения кодовой комбинации из  $n$  посылок

$$T_{\min} = n \frac{k_r n_r}{2F} + (n-1) \frac{k_r n_r}{2F} \quad (21)$$

или

$$T_{\min} = (2n-1) \frac{k_r n_r}{2F}. \quad (22)$$

Относительная скорость передачи информации

$$R_F^{(5)} = -\frac{2 \log 2\beta}{(2n-1) k_r n_r} \cdot \frac{T_{\min}}{T} = -0,4 \frac{\log 2\beta}{(2n-1) k_r} \cdot \frac{T_{\min}}{T}. \quad (23)$$

На рис. 1 даны кривые, характеризующие изменение относительной скорости передачи информации  $R_F$  в зависимости от погрешности дискретности  $\beta$  для разных типов рассмотренных кодов, построенные по полученным формулам. Для сравнения приведена аналогичная функция для кодо-импульсной модуляции (КИМ).

Из графиков видно, что наименьшую относительную скорость передачи информации имеет десятичный частотно-комбинационный код  $(C_{n_r}^2)_n$ , наибольшую — полный сменнопосылочный на сочетании  $C_{n_r}^{m_r}$ . Однако в зоне

где  $\beta$  составляет примерно 0,5%, оба эти кода незначительно отличаются от систем, использующих кодо-импульсную модуляцию.

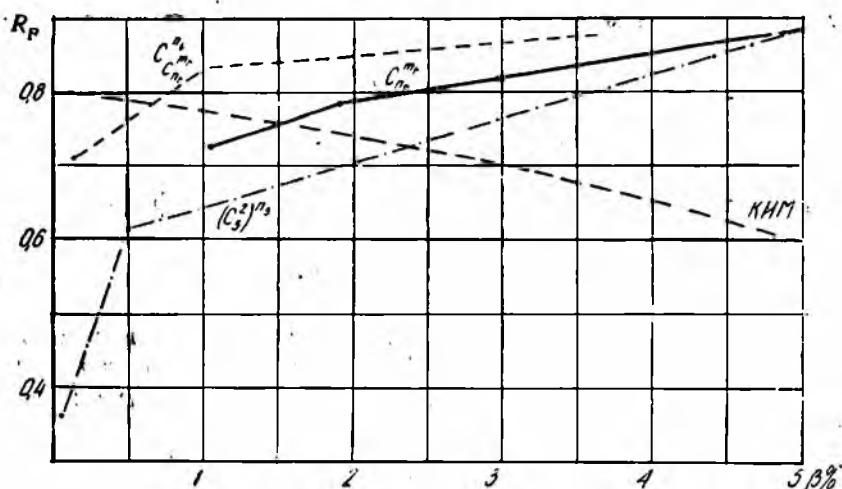


Рис. 1. Зависимости, характеризующие изменение скорости передачи информации в функции от погрешности дискретности.

При повышении точности телеизмерения относительная скорость передачи у приведенных кодов ухудшается по сравнению с КИМ и составляет примерно 0,36 дв. ед. для десятичного частотно-комбинационного кода против 0,8 дв. ед. для кодо-импульсной модуляции. Таким образом, можно сделать вывод, что системы телеизмерения с использованием частотно-временных кодов нерационально применять, с точки зрения эффективности передачи, при погрешностях дискретности  $\beta$  менее 0,5%.

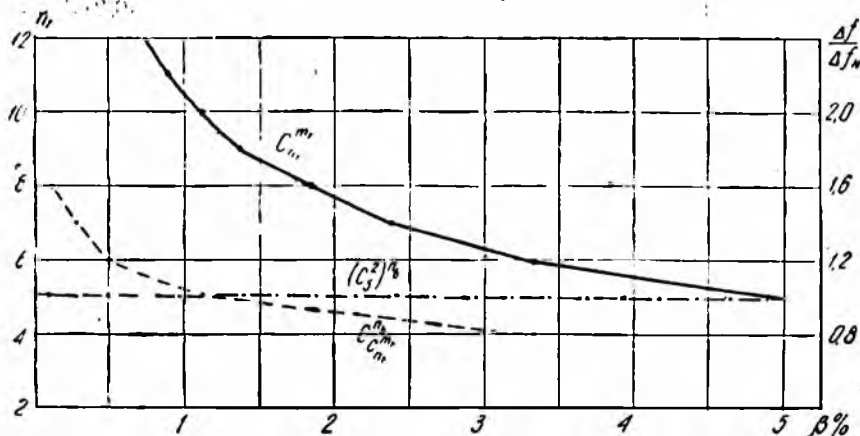


Рис. 2. Зависимости, характеризующие расширение относительной полосы частот в функции от погрешности дискретности.

На рис. 2 приведены кривые, характеризующие изменение количества генераторов фиксированных частот  $n_f$  и относительной полосы  $\frac{\Delta f}{\Delta f_0}$  в зависимости от погрешности дискретности  $\beta$ . За оптимальную полосу частот  $\Delta f_0$  условно принята полоса, занимаемая системой телеизмерения в случае использования десятичного частотно-комбинационного кода, которая

остается постоянной для разных значений  $\beta$ . Сильно расширяется полоса частот у простейшего частотно-комбинационного кода  $C_{n,r}^m$ , значит, код этого типа нерационально применять в системах телеизмерения даже со средней точностью передачи. Он может быть использован в индикаторных системах с погрешностями дискретности  $\beta$  порядка 5% и ниже. Полный сменнопосылочный код на сочетании рационально применять в зоне, где  $\beta$  ниже 1%. В телеизмерительных системах с  $\beta = 0,5 \pm 1\%$  необходимо использовать десятичный частотно-комбинационный код, так как относительная ширина полосы частот у него остается постоянной, а скорость передачи мало отличается от скорости для полного сменнопосылочного кода на сочетании.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. И л ь н и. Телеконтроль и телеуправление рассредоточенными объектами, Госэнергоиздат, М., 1953.
  2. К. Ш е н н о н. Математическая теория связи. Работы по теории информации и кибернетике, Изд-во иностр. лит., М., 1963.
-