

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРИЕМНИКОВ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ КОДОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ КОМПЕНСИРУЮЩЕЕ СМЕЩЕНИЕ

А. Б. Попов, Б. С. Дидык, Л. Д. Кравченко

Киев

В системах телемеханики при передаче сигналов по каналу связи часть команд не фиксируется приемником, так как может произойти искажение или подавление сигнала помехой (защитный отказ). Не исключено, что приемник воспримет и такие сигналы, которые с диспет-

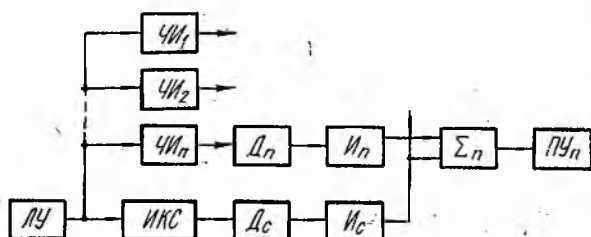


Рис. 1. Блок-схема приемника частотно-временной системы телемеханики с целью компенсирующего смещения.

черского пункта не передавались, а возникли из-за помех при отсутствии сигнала или при полном его подавлении (ложное срабатывание).

Помехоустойчивость систем телемеханики (в том числе систем передачи данных) характеризует степень независимости нормальной работы систем от помех канала связи.

При одном и том же способе передачи информации в системе вероятность ложного срабатывания можно уменьшить, повысив вероятность подавления сигнала, перестроив схему или изменив режим ее работы.

Статическая помехоустойчивость (помехоустойчивость при отсутствии сигнала в канале связи) зависит от среднего числа ложных команд, образуемых из помех канала связи в единицу времени. Динамическая помехоустойчивость определяется средним числом ложных команд, которые являются результатом взаимодействия передаваемых сигналов и помех, и средним числом сигналов, подавляемых помехами.

Блок-схема приемника частотно-временной системы телемеханики с целью компенсирующего смещения [1] приведена на рис. 1. Сигнал поступает из канала связи на линейный усилитель ЛУ, а затем разделяется на две цепи: цепь индивидуальных частотных избирателей ($ЧИ_1$ — $ЧИ_n$) и цепь частотного избирателя компенсирующего смещения ИКС. С частотных избирателей сигналы поступают на соответствующие детекторы (D_1 — D_n и D_c) и интегрирующие элементы (I_1 —

I_n и I_c). Напряжения с выходов интегрирующих элементов подаются на сумматор, где они вычитаются из напряжения цепи компенсирующего смещения.

Налагая ряд ограничений (интегрирование и усиление являются линейными, детектор квадратичным, а помеха представляет собой «белый шум»), определяем уровни помехи и сигнала на входах симматоров.

Для случайного стационарного процесса, каким является рассматриваемая помеха, обычно оказывается справедливой эргодическая теорема, ввиду чего в дальнейшем будем производить усреднение во времени.

Если обозначить среднеквадратичное значение шума через σ , а напряжение сигнала через U_s , то отношение сигнал-шум

$$q = \frac{U_s}{\sigma}. \quad (1)$$

В реальных системах телемеханики эффективная ширина полосы пропускания частотного избирателя обычно существенно превышает минимально необходимую ($\Delta f_s \gg \frac{1}{T}$, где T — длительность сигнала).

На выходе ЧИ рабочей цепи получаем соответственно

$$\sigma_p = \frac{\sigma}{\sqrt{\rho}}, \quad q_p = q\sqrt{\rho}, \quad (2)$$

где $\rho = \frac{\Delta f_{np}}{\Delta f_s}$ — отношение эффективной полосы пропускания приемника и одного ЧИ.

Постоянная составляющая помехи на выходе детектора [2]

$$U_p = \sigma_p^2 (1 + q_p^2). \quad (3)$$

Дисперсия шума на выходе детектора, определяемая аналогично,

$$U_N^2 = \sigma_p^4 (1 + 2q_p^2). \quad (4)$$

На выходе интегратора получаем напряжение

$$U = \frac{1}{T} \int_0^T [U_p + U_N(t)] dt = U_p + \frac{1}{T} \int_0^T U_N(t) dt. \quad (5)$$

Интеграл в правой части уравнения (5) является случайной функцией с нулевым математическим ожиданием. Находим дисперсию шума на выходе интегратора:

$$\begin{aligned} U_{NP}^2 &= \left[\frac{1}{T} \int_0^T U_N(t) dt \right]^2 = \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T U_N(t) U_N(t') dt dt' = \\ &= \frac{U_N^2}{T^2} \int_0^T \int_0^T R(t-t') dt dt', \end{aligned} \quad (6)$$

где $R(t-t')$ — коэффициент корреляции мгновенных значений.

Вводя новую переменную $\tau = t - t'$ и интегрируя (6) с учетом значения $R(\tau)$, получаем

$$U_{Np}^2 = \sigma_p^4 (C + Dq_p^2), \quad (7)$$

где

$$C = \frac{\beta}{2} \left(\beta e^{-\frac{2}{\beta}} - \beta + \frac{1}{2} \right);$$

$$D = 4\beta \left[1 - \beta \left(1 - e^{-\frac{1}{\beta}} \right) \right];$$

$\beta = \frac{\tau_k}{T}$; τ_k — постоянная времени ЧИ.

Подставляя (2) в выражения (3) и (7), находим

$$U_p = \frac{\sigma^2}{\rho} (1 + \rho q^2), \quad (8a)$$

$$U_{Np} = \frac{\sigma^4}{\rho^2} (C + D\rho q^2). \quad (8b)$$

Для напряжения компенсирующего смещения, производя аналогичные преобразования, выводим выражение

$$U_{cm} = k^2 \sigma^2 (1 + q_k^2) - U_3, \quad (9)$$

где U_3 — напряжение задержки схемы смещения.

Ложное срабатывание в цепи ЧИ может произойти, если напряжение на входе сумматора при отсутствии сигнала превышает напряжение смещения U_{cm} и напряжение срабатывания порогового устройства на выходе сумматора

$$p_n = p[U_p + U_{Np} > U_{cp} + U_{cm}]. \quad (10)$$

Плотность вероятности флуктуаций сигнала на выходе любого интегратора имеет нормальный закон распределения. Плотность вероятности совместного напряжения сигнала и шума определяется, как известно, обобщенным законом Релея. Поэтому окончательно вероятность превышения порога срабатывания при двухчастотной посылке

$$P_{np} = 0,5 - \Phi_0 \left[\frac{k^2 \sigma^2 (1 + q_k^2) - \frac{\sigma}{\rho} - U_{cp} (k_{3n} - 1)}{\frac{\sigma^2}{\rho} \sqrt{C}} \right], \quad (11)$$

где Φ_0 — нормированная функция Лапласа;

k_{3n} — коэффициент запаса по срабатыванию порогового устройства.

Вероятность подавления сигнала шумами канала связи

$$P_n = 0,5 - \Phi_0 \left[\frac{U_{cp} (k_{3n} - 1)}{\frac{\sigma^2}{\rho} \sqrt{C + \frac{D}{2} \rho q^2}} \right]. \quad (12)$$

Для приемника частотных сигналов без схемы компенсирующего смещения

$$P_{np} = 0,5 - \Phi_0 \left[\frac{U_{cp} - \frac{\sigma^2}{\rho}}{\frac{\sigma^2}{\rho} \sqrt{C}} \right], \quad (13a)$$

$$P_n = 0,5 - \Phi_0 \left[\frac{\frac{\sigma^2}{\rho} \left(1 + \frac{1}{2} \rho q^2 \right) - U_{cp}}{\frac{\sigma^2}{\rho} \sqrt{C + \frac{D}{2} \rho q^2}} \right]. \quad (13b)$$

Характерно, что если в приемнике без компенсирующего смещения увеличение порога срабатывания U_{cp} приводит к уменьшению вероят-

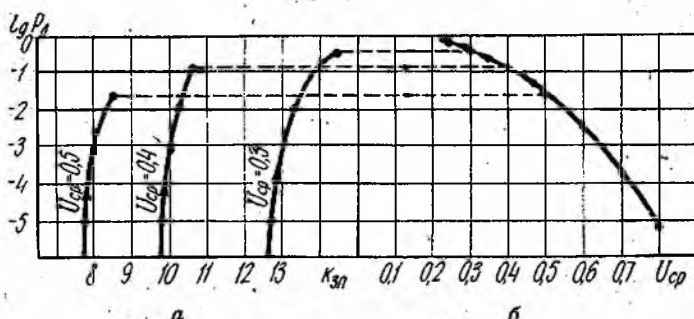


Рис. 2. Вероятность превышения помехой уровня срабатывания порогового устройства.

ности превышения порога срабатывания и увеличению вероятности подавления, то в приемнике частотных сигналов с компенсирующим смещением имеет место обратное явление.

На рис. 2, а приведены данные об определении вероятности превышения порога срабатывания помехой при отсутствии сигнала в зависимости от величины коэффициента запаса для приемника с компенсирующим смещением, на рис. 2, б — для приемника без компенсирующего смещения в зависимости от порога срабатывания. Сравнение этих данных показывает, что при одинаковых пороговых уровнях помехоустойчивость приемника частотных сигналов с компенсирующим смещением существенно выше, чем во втором случае, и при реальных коэффициентах запаса $k_{zn} \approx 1,5-2$ вероятность превышения для приемника, использующего компенсирующее смещение, пренебрежительно мала.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Б. Попов. Метод улучшения характеристик приемников частотных сигналов. Вестник Киевск. политехн. ин-та, № 1, серия автоматики, приборостроения и радиоэлектроники. Киев, 1964.
2. В. И. Бунимович. Флуктуационные процессы в радиоприемных устройствах. Изд-во «Советское радио», 1951.