

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДЫСКАЖЕНИЙ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИГНАЛОВ ЧТ

В. К. Маригодов

Севастополь

В качестве критерия оценки эффективности предыскажений при передаче дискретных сообщений примем параметр γ , показывающий, во сколько раз в результате применения предыскажений уменьшается вероятность ошибки p :

$$\gamma = \frac{p}{p'} = \frac{\psi(h)}{\psi(h')}, \quad (1)$$

где p — вероятность ошибки при наличии предскажений;

$h^2 = \left(\frac{P_C}{P_{\Pi}}\right)_F FT = \frac{\sigma^2}{\gamma_0^2} FT$ — отношение средней энергии элемента сигнала на входе приемного устройства к спектральной плотности помехи γ_0^2 ;

F — условная полоса частот [1];

T — длительность сигнала;

$(h')^2 = \left(\frac{P'_C}{P'_{\Pi}}\right)_F FT$ — отношение мощности сигнала к мощности помех при наличии предскажений.

Если воспользоваться для оценки эффективности предскажений энергетическим критерием [2], можно показать, что

$$(h')^2_{\max} = S_{\max} h^2,$$

где S_{\max} — коэффициент, характеризующий эффективность предскажений в соответствии с энергетическим критерием [3].

Коэффициент S_{\max} находится по формуле

$$S_{\max} = \frac{\int_{\omega_1}^{\omega_2} G(\omega) d\omega \int_{\omega_1}^{\omega_2} N(\omega) d\omega}{\left(\int_{\omega_1}^{\omega_2} \sqrt{G(\omega) N(\omega)} d\omega\right)^2}, \quad (2)$$

где $G(\omega)$ и $N(\omega)$ — энергетические спектральные плотности сигнала и аддитивной помехи;

ω_1 и ω_2 — граничные частоты эффективной полосы пропускания канала связи.

Оптимальная величина эффективности предскажений в соответствии с критерием отношения вероятностей получается равной

$$\gamma_{\text{opt}} = \frac{p}{p_{\min}} = \frac{\psi(h)}{\psi(h'_{\max})}. \quad (3)$$

Рассмотрим применение критерия отношения вероятностей для определения эффективности предскажений в синхронной системе частотного телеграфирования при наличии в канале аддитивного белого шума.

Энергетический спектр сигнала ЧТ можно представить в виде [4]

$$G(\omega) = G_H(\omega) + G_T(\omega); \quad (4)$$

$$G_H(\omega) = \frac{a^2 \pi}{2} [\delta(\omega - \omega_1) + \delta(\omega - \omega_2)];$$

$$G_T(\omega) = \frac{a^2}{T} \left[\frac{\sin^2(\omega - \omega_1') \frac{T}{2}}{(\omega - \omega_1')^2} + \frac{\sin^2(\omega - \omega_2') \frac{T}{2}}{(\omega - \omega_2')^2} \right],$$

где $G_H(\omega)$ — спектр несущих частот ω_1' и ω_2' ;
 $G_T(\omega)$ — спектр процесса телеграфирования;
 a — амплитуда элементарного радиосигнала;
 T — длительность элементарной посылки;
 $\delta(\omega - x)$ — дельта-функция.

Энергетический спектр несущих представляет собой две дискретные спектральные линии, сосредоточенные на частотах «нажатия» и «отжатия» (ω_1' и ω_2'). Спектр процесса телеграфирования характеризует распределение полной энергии в дискретном сигнале с относительным увеличением энергии на частотах ω_1' и ω_2' . Для количественного определения эффективности применения предыскажений можно с некоторым приближением учитывать только непрерывный спектр, т. е. спектр процесса телеграфирования.

С учетом последнего получаем

$$G(\omega) \approx \frac{a^2}{T} \left[\frac{\sin^2(\omega - \omega_1') \frac{T}{2}}{(\omega - \omega_1')^2} + \frac{\sin^2(\omega - \omega_2') \frac{T}{2}}{(\omega - \omega_2')^2} \right].$$

Полученное выражение также упростится, если несущие частоты ω_1' и ω_2' представим следующим образом:

$$\omega_1' = \omega_{\text{ср}} - \omega_k; \quad \omega_2' = \omega_{\text{ср}} + \omega_k.$$

Здесь $\omega_{\text{ср}} = \frac{\omega_1' + \omega_2'}{2}$ — средняя частота телеграфирования; ω_k — отклонение частоты в процессе телеграфирования. При небольшом разnose частот ($\omega_k \rightarrow 0$) энергетический спектр сигнала принимает вид

$$G(\omega) \approx \frac{a^2 T}{2} \frac{\sin^2 \left[(\omega - \omega_{\text{ср}}) \frac{T}{2} \right]}{\left[(\omega - \omega_{\text{ср}}) \frac{T}{2} \right]^2}. \quad (5)$$

Полученная формула также справедлива для энергетического спектра косинусоидального радиопульса или случайной последовательности радиопульсов с прямоугольной огибающей [5].

Определяем оптимальный выигрыш, который можно получить в результате применения предыскажений сигнала синхронной системы ЧТ. Если положить $N(\omega) = N_0 = \text{const}$, т. е. считать

аддитивную помеху в канале связи белым шумом, то после подстановки значения $G(\omega)$ из формулы (5) в выражение (2), находим

$$S_{\max} \approx \frac{k\Delta\omega R}{2 \left\{ k\Delta\omega - \frac{[(\Delta\omega - \omega_{cp})k]^3 - (\omega_{cp}k)^3}{18} \right\} + \frac{k\Delta\omega R}{\left\{ [(\Delta\omega - \omega_{cp})k]^5 - (\omega_{cp}k)^5 \right\}^2} \cdot \frac{1}{600}}$$

где

$$R = \frac{1}{\omega_{cp}k} - \frac{1}{(\Delta\omega - \omega_{cp})k} + \frac{\cos [2(\Delta\omega - \omega_{cp})k]}{(\Delta\omega - \omega_{cp})k} + \frac{\cos (2\omega_{cp}k)}{\omega_{cp}k} + 4\Delta\omega k - \frac{8 \{[(\Delta\omega - \omega_{cp})k]^3 - (\omega_{cp}k)^3\}}{9} + \frac{8 \{[(\Delta\omega - \omega_{cp})k]^5 - (\omega_{cp}k)^5\}}{75};$$

$$k = \frac{T}{2}.$$

Предположим, что сигналы синхронной системы ЧТ передаются по типовому телефонному каналу радиорелейной линии связи. При получении выражения (6) предполагалось, что $\omega_1 \approx 0$. Для расчета величины S_{\max} примем $\omega_2 = \Delta\omega = 2\pi \cdot 3,4 \cdot 10^3$ рад/сек; $\omega_{cp} = 2\pi \cdot 1,85 \cdot 10^3$ рад/сек; $T \approx 3 \cdot 10^{-4}$ сек. После подстановки этих данных в формулу (6) получается $S_{\max} \approx 1,85$.

Находим h^2 и $(h^1_{\max})^2$, полагая $\frac{a^2}{N_0} = 10^4$, что соответствует условиям работы каналов УКВ радиорелейных линий с частотным уплотнением и ЧМ:

$$h^2 = \frac{\int_{\omega_1}^{\omega_2} G(\omega) d\omega}{\int_{\omega_1}^{\omega_2} N(\omega) d\omega} \approx \frac{a^2 R}{2N_0 \Delta\omega} \approx 9,2;$$

$$(h^1_{\max})^2 = S_{\max} h^2 = 17.$$

Вероятность ошибочного приема для синхронной системы ЧТ (ортогональной в усиленном смысле двоичной системы) при некогерентном приеме определяется формулой [1]

$$p = 0,5e^{-\frac{h^2}{2}}. \quad (7)$$

С помощью этой формулы находим вероятности ошибки p и p^1_{\min} :

$$p \approx 0,5 \cdot 10^{-2} = 5 \cdot 10^{-3};$$

$$p^1_{\min} \approx 0,5 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-4}.$$

Определяем оптимальную величину выигрыша в результате применения предвыскажений

$$\gamma_{\text{opt}} = \frac{p}{p_{\text{min}}} = 50.$$

Приведем экспериментальные данные применения предвыскажений в канале ЧТ типовой УКВ радиорелейной линии. На рис. 1 изображены принципиальные схемы предвыскажающего и корректирующего устройств для канала ЧТ с разносом частот 600 гц и скоростью телеграфирования 50 бод. На рис. 2 изображены частотные характеристики затухания этих устройств и их результирующая частотная характеристика. Для передачи сигналов частотной телеграфии использовался типовой канал радиорелейной линии с частотным уплотнением и ЧМ.

На рис. 3 показаны спектрограммы сигнала в различных точках тракта радиолинии. Они характеризуют эффективность применения предвыскажающих и корректирующих устройств для сигналов ЧТ при наличии в канале аддитивных флуктуационных помех. Из сравнения рис. 3, а и 3, в видно «выравнивание» спектра сигнала ЧТ на выходе предвыскажающего устройства. При отсутствии предвыскажений наблюдается некоторое расширение составляющих спектра, близлежащих к несущим частотам,

что обусловлено влиянием радиоканала (рис. 3, б). Кроме того, на спектрограмме заметно влияние помех аддитивного характера. При наличии предвыскажений (рис. 3, в) спектр сигнала ЧТ более близок к спектру исходного сигнала (рис. 3, а), а также наблюдается значительное ослабление помех в эффективной полосе действия предвыскажающего и корректирующего устройств.

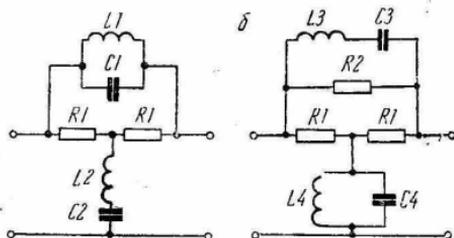


Рис. 1. Принципиальные схемы устройств:

а — предвыскажающего; б — корректирующего;
 $L1 = 23,16 \text{ мГн}; L2 = 64,5 \text{ мГн}; L3 = 527 \text{ мГн}; L4 = 2,84 \text{ мГн};$
 $R1 = 600 \text{ Ом}; R2 = 5,4 \text{ Ком}; C1 = 0,178 \text{ мкФ}; C2 = 0,0634 \text{ мкФ}; C3 = 0,0078 \text{ мкФ}; C4 = 1,45 \text{ мкФ}.$

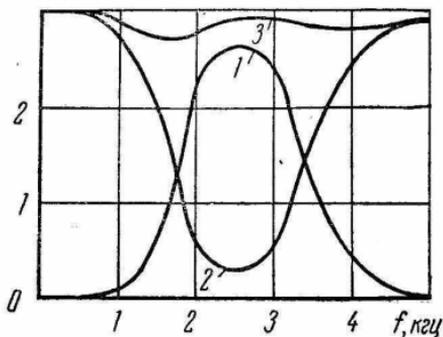


Рис. 2. Частотные характеристики: 1 — предвыскажателя; 2 — корректора; 3 — результирующая.

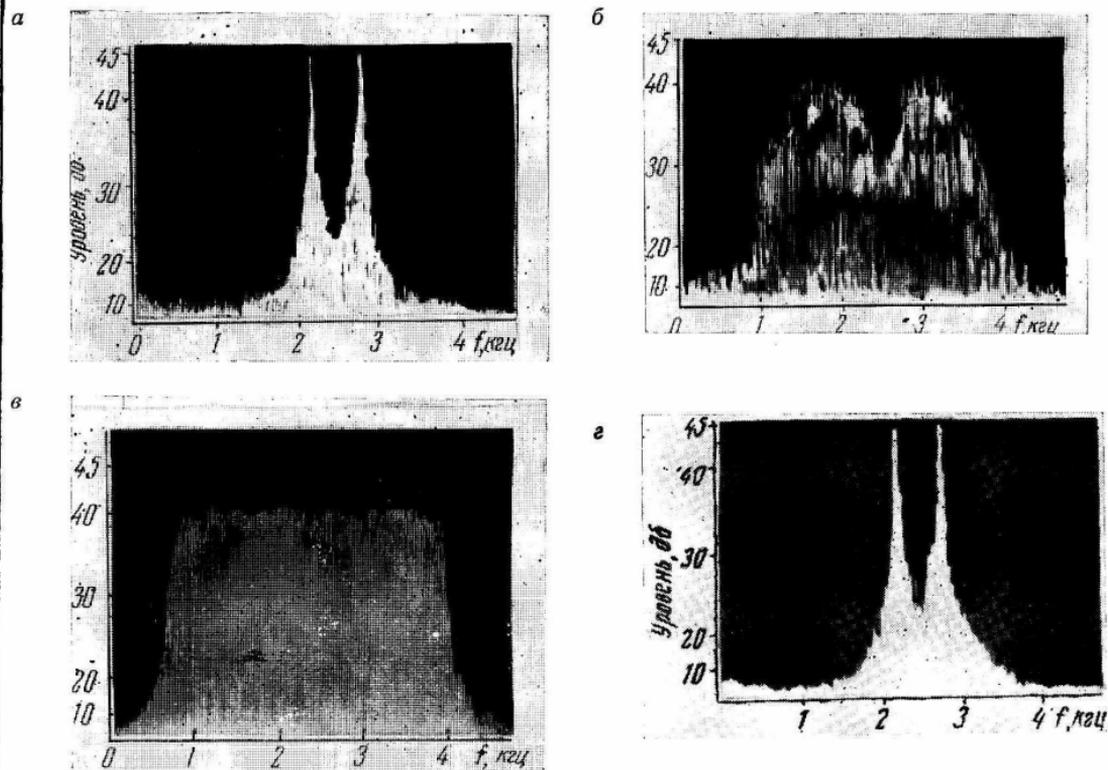


Рис. 3. Спектрограммы процессов:

а — на входе передскажателя; *б* — на входе приемной аппаратуры уплотнения оконечной станции (трасса с тремя ретрансляциями сигнала); *в* — на выходе передскажателя (после дополнительного усиления); *г* — на выходе корректора в приемной аппаратуре уплотнения оконечной станции (на трассе с тремя ретрансляциями).

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Финк. Теория передачи дискретных сообщений. Изд-во «Советское радио», 1970.
2. В. К. Маригодов. О выборе оптимальной формы спектра входного сигнала с точки зрения наибольшей эффективности предсказаний. Сб. «Радиотехника», вып. 8. Изд-во ХГУ, Харьков, 1968.
3. В. М. Штейн. О расчете линейных предсказаний и корректирующих устройств. «Радиотехника», т. 11, № 2, 1956.
4. А. С. Котусов. К определению корреляционных свойств сигналов дискретных сообщений на выходе канала связи со случайным изменением параметров. «Проблемы передачи информации», т. 2, вып. 1, 1966.
5. А. А. Харкевич. Спектры и анализ. Изд. 4-е, Физматгиз, 1962.