

## О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ СПЕКТРА ВХОДНОГО СИГНАЛА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАИБОЛЬШЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЫСКАЖЕНИЙ

*В. К. Маригодов*

Севастополь

При передаче фототелеграфных сигналов по одному из телефонных каналов радиорелейных линий с частотным уплотнением и частотной модуляцией возникает необходимость введения предискажений в низкочастотный тракт канала (тракт передачи фототелеграфного сигнала методом АМ). Эффективность предискажений в таком канале можно оценивать отношением средних мощностей шумов на выходе восстанавливающего контура до и после применения предискажений, полагая среднюю мощность сигнала неизменной [1].

Если обозначить среднюю мощность внутренних шумов канала  $N(f)$ , модуль коэффициента передачи контура предварительных искажений  $|K_1(f)|$ , значение модуля коэффициента передачи предискажающего контура на несущей частоте сигнала  $k$  и граничные значения эффективной полосы частот  $f_1$  и  $f_2$ , то получим следующее выражение для коэффициента  $S$ , характеризующего эффективность предискажений:

$$S = \frac{\int_{f_1}^{f_2} N(f) df}{k^2 \int_{f_1}^{f_2} \frac{N(f)}{|K_1(f)|^2} df}. \quad (1)$$

Для нахождения максимума величины  $S$ , очевидно, необходимо определить минимум функционала в знаменателе выражения (1) при условии фиксированной средней мощности сигнала на входе канала связи

$$P_0 = \int_{f_1}^{f_2} P(f) |K_1(f)|^2 df = \text{const}, \quad (2)$$

где  $P(f)$  — энергетический спектр полезного сигнала.

Таким образом, мы имеем изопериметрическую задачу теории вариационных исчислений [2]. Решение задачи находится из уравнения Эйлера

$$-\frac{N(f)}{|K_1(f)|^4} + \lambda_1 P(f) = 0,$$

где  $\lambda_1$  — параметр, определяемый из условия (2).

Определив  $|K_1(f)|^2$ ;

$$|K_1(f)|^2 = \frac{P_0 \sqrt{\frac{N(f)}{P(f)}}}{\int_{f_1}^{f_2} \sqrt{N(f)P(f)} df}, \quad (3)$$

окончательно получим

$$S_{\max} = \frac{P_0 \int_{f_1}^{f_2} N(f) df}{k^2 \left[ \int_{f_1}^{f_2} \sqrt{N(f)P(f)} df \right]^2}. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что  $S_{\max}$  тем больше, чем больше величина средней мощности на входе канала связи, чем меньше ослабление сигнала в результате предскажений и чем больше различаются по форме характеристики  $N(f)$  и  $P(f)$ . При одинаковых формах спектров сигнала и помех величина выигрыша тем больше, чем меньше средняя мощность шумов на входе канала (при фиксированных  $P_0$  и  $k$ ).

Известно, что на выходе ЧМ приемников радиорелейной линии спектр шумов имеет треугольную форму. Однако, поскольку мы рассматриваем введение предскажений в один из телефонных каналов, занимающих сравнительно узкую полосу частот, можно приблизительно полагать спектральную плотность шумов в одном канале равномерной. С учетом этого определим коэффициент  $S_{\max}$ . В этом случае дополнительным условием будет

$$\int_{f_1}^{f_2} N(f) df = N_0 = \text{const.} \quad (5)$$

Находим минимум функционала в знаменателе выражения (4). В этом случае уравнение Эйлера будет иметь следующий вид:

$$\frac{P(f)}{2\sqrt{N(f)P(f)}} + \lambda_2 = 0, \quad (6)$$

откуда

$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{1}{4N_0} \int_{f_1}^{f_2} P(f) df}$$

и

$$S_{\max} = \frac{P_0 \sqrt{N_0}}{k^2 \sqrt{\int_{f_1}^{f_2} P(f) df}}. \quad (7)$$

Проанализируем выражение (7). Наименьшая величина  $S_{\max}$  получается в том случае, если спектральная плотность входного сигнала (на входе предскаживающего контура) равномерна.  $S_{\max}$  тем больше, чем больше спектральная плотность входного сигнала отличается от равномерной. Если мощность входного сигнала на средней частоте эффективной полосы частот канала  $f_1 - f_2$  считать такой же, как в случае равномерной спектральной плотности, то для получения максимальной величины  $S_{\max}$  огибающая спектральной плотности входного сигнала должна как можно больше приближаться к оси частот симметрично, по обе стороны от средней частоты  $f_0$  (рис. 1).

Если на выходе канала связи (на входе восстанавливающего контура) спектры сигнала и помехи равномерны и отличаются друг от друга постоянным множителем, то сигнал и помеха теряют в восстанавливающем контуре одинаковое относительное количество энергии и отношение сигнал-помеха на входе приемника не изменяется.

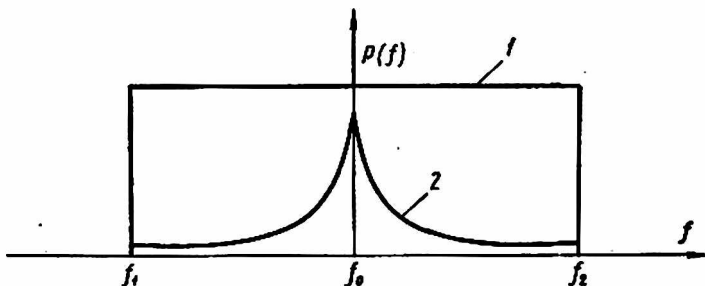


Рис. 1. Огибающие спектральной плоскости входного сигнала: 1 — при равномерном распределении; 2 — при распределении, соответствующем большим величинам.

Из теории потенциальной помехоустойчивости следует, что максимальной помехоустойчивостью (для идеального приемника) обладает сигнал с равномерным энергетическим спектром. При этом предполагается, что помеха представляет собой «белый шум». Таким образом, для оптимального выигрыша в помехозащищенности сигнала при введении предсказаний сигнал на выходе предсказывающего контура должен иметь равномерный спектр, т. е.

$$\int_{f_1}^{f_2} P(f) |K_1(f)|^2 df = P_0 \Delta f, \quad (8)$$

где  $\Delta f = f_2 - f_1$  — эффективная полоса частот телефонного канала.

Пусть частотная характеристика предсказывающего контура аппроксимируется простым выражением (рис. 2):

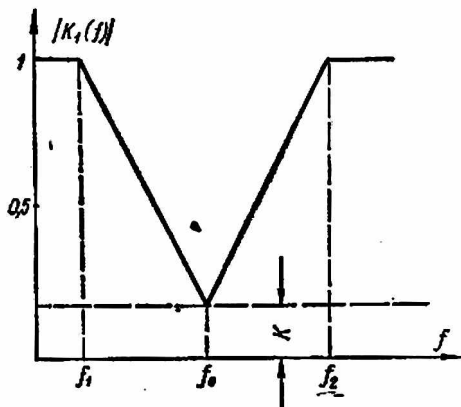


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика предсказывающего контура.

$$\left. \begin{aligned} |K_1(f)| &= k + (1 - k) \frac{f_0 - f}{f_0 - f_1} = \frac{k(f_0 - f_1) + (1 - k)(f_0 - f)}{f_0 - f_1} && \text{при } f_1 \leq f \leq f_0 \\ |K_1(f)| &= k + (1 - k) \frac{f - f_0}{f_2 - f_0} = \frac{k(f_2 - f_0) + (1 - k)(f - f_0)}{f_2 - f_0} && \text{при } f_0 \leq f \leq f_2 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Пользуясь выражениями (8) и (9), определим форму энергетического спектра сигнала на входе предсказывающего контура:

$$\left. \begin{aligned} P(f) &= \frac{P_0}{|K_1(f)|^2} = \frac{P_0 (f_0 - f_1)^2}{[k(f_0 - f_1) + (1 - k)(f_0 - f)]^2} && \text{при } f_1 \leq f \leq f_0 \\ P(f) &= \frac{P_0}{|K_1(f)|^2} = \frac{P_0 (f_2 - f_0)^2}{[k(f_2 - f_0) + (1 - k)(f - f_0)]^2} && \text{при } f_0 \leq f \leq f_2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

С помощью выражений (10) для телефонного канала с параметрами  $f_1 = 0,3$  кГц;  $f_2 = 2,7$  кГц;  $f_0 = 1,5$  кГц рассчитана форма энергетического спектра (рис. 3).

Статистические исследования спектра фототелеграфных сообщений показали, что практически для большинства передаваемых сюжетов форма огибающей спектра сигнала на выходе фототелеграфного аппарата близка к оптимальной [3].

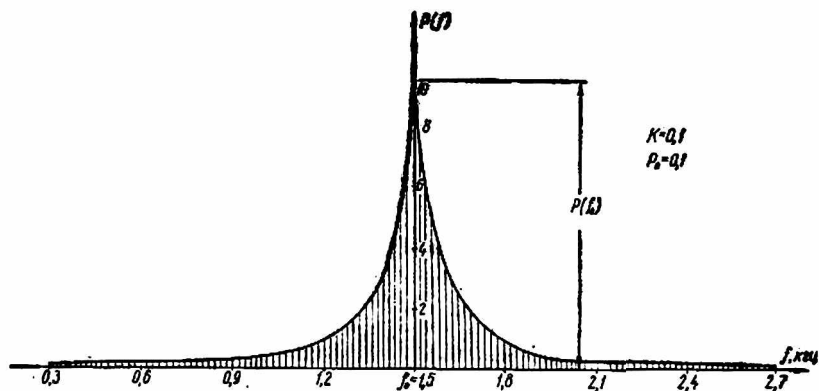


Рис. 3. Энергетический спектр фототелеграфного сигнала на входе предсказывающего контура.

Заметим, что при учете довольно значительной мощности сигнала на несущей частоте, которая подавляется предсказывающим контуром наиболее эффективно, можно получить еще больший выигрыш в помехозащищенности фототелеграфных сигналов при их передаче по телефонным каналам радиорелейных линий связи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Овсевиц, М. С. Пинскер. Оптимальное линейное предсказание и корректирование сигнала при передаче его по многопутевой системе. «Изв. АН СССР ОТН. Энергетика и автоматика», № 2, 1959.
2. В. И. Смирнов. Курс высшей математики. т. IV, М., 1951.
3. В. А. Гармаш, Н. Е. Кириллов, Д. С. Лебедев. Экспериментальное исследование статистических свойств источников сообщений. АН СССР. Лаборатория систем передачи информации. Проблемы передачи информации, вып. 5, М., 1960.