О ПРЕДЫСКАЖАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ТЕЛЕФОННЫХ КАНАЛОВ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

В. К. Маригодов

Севастополь

При передаче фототелеграфных сигналов по одному из телефонных каналов радиорелейных линий с частотным уплотнением и частотной модуляцией необходимо введение предыскажений в низкочастотный тракт канала (тракт передачи фототелеграфного сигнала методом АМ). Эффективность предыскажений в таком канале оценивается отношением средних мощностей шумов на выходе восстанавливающего контура до применения и после применения предыскажений; среднюю мощность сигнала считаем неизменной [3]. Блок-схема включения предыскажающих устройств в канал радиорелейной линии приведена на рис. 1. Канал связи (рис. 1) представляет собой четырехполюсник, входом которого является вход ЧМ передатчика радиорелейной линии, а выходом — выход радиоприемника.

Если обозначить среднюю мощность внутренних шумов канала $N(f)$, модуль коэффициента передачи контура предварительных искажений $|K_1(f)|$, значение модуля коэффициента передачи предыскажающего контура на несущей частоте сигнала k, то получим следующее выражение для коэффициента S, характеризующего эффективность предыскажающих устройств:

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

где f_1 и f_2 — граничные частоты эффективной полосы пропускания телефонного канала радиорелейной линии.

Чтобы найти максимум величины S, очевидно, необходимо определить минимум функционала в знаменателе выражения (1) при условии фиксированной средней мощности сигнала на входе канала связи (рис. 1)

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

где $G(f)$ — энергетический спектр сигнала.

Таким образом получаем изопериметрическую задачу теории вариационных исчислений [4]. Решение задачи находим по уравнению Эйлера

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

где λ_1 — параметр, определяемый из условия (2).

Найдя

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

окончательно получим

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

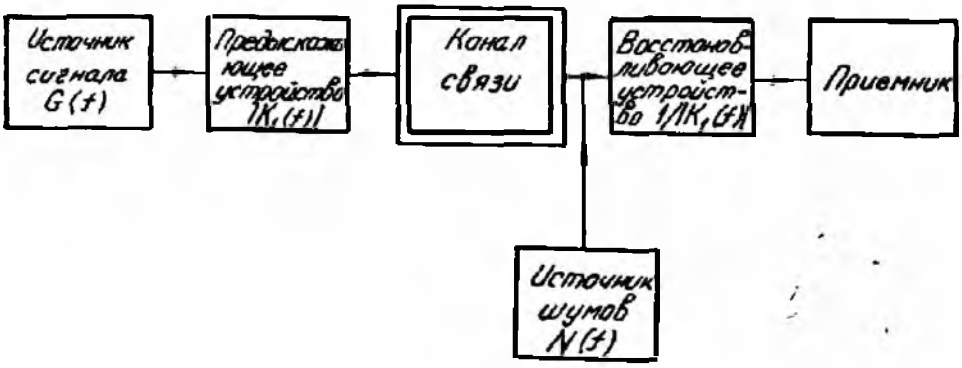

Рис. 1. Блок-схема включения предыскажающих устройств в канал радиорелейной линии связи.

Из выражения (4) следует, что эффективность предыскажений тем больше, чем больше величина средней мощности на входе канала связи, чем меньше ослабление сигнала в результате предыскажений и чем больше различаются по форме характеристики $N(f)$ и $G(f)$, т. е. энергетические спектры сигнала и помехи.

Известно, что на выходе ЧМ приемников радиорелейной линии спектр шумов имеет треугольную форму. Каждый из телефонных каналов занимает сравнительно узкую полосу частот. Поэтому можно с некоторым приближением считать спектральную плотность шумов в пределах эффективной полосы пропускания одного телефонного канала равномерной. С учетом этого определим коэффициент S_{max}.

Используем дополнительное условие

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

Найдем минимум функционала в знаменателе выражения (4). Уравнение Эйлера будет иметь вид

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

откуда

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

и

$$S_{max} = \frac{P_0 \sqrt{N_0}}{k^2 \sqrt{\int_{f_1}^{f_2} G(f)\,df}}, \tag{7}$$

Из выражения (7) следует, что эффективность введения предыскажений тем больше, чем больше спектральная плотность входного сигнала отличается от равномерной. Согласно теории потенциальной помехоустойчивости, максимальной помехозащищенностью (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 предыскажений сигнал на выходе предыскажающего устройства должен иметь равномерный спектр, т. е.

$$\int_{f_1}^{f_2} G(f)|K_1(f)|^2 df = G_1 = \text{const}. \qquad (8)$$

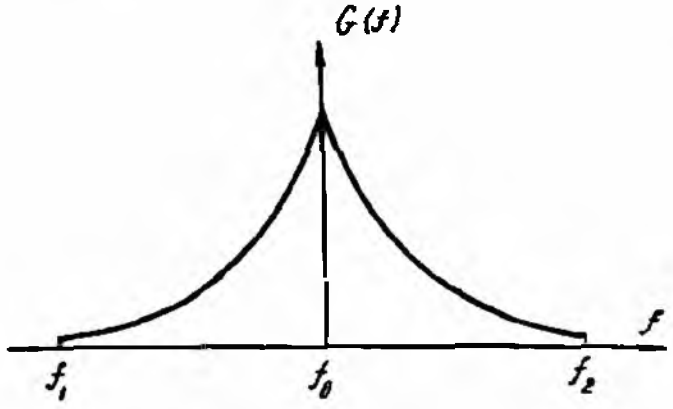

Рис. 2. Упрощенная форма огибающей спектра АМ фототелеграфного сигнала.

Зная спектр фототелеграфного сигнала на входе предыскажающего устройства, можно определить требуемую форму амплитудно-частотных характеристик предыскажающего и восстанавливающего контуров (рис. 1). Статистические исследования спектра фототелеграфных сообщений показали, что для большинства передаваемых сюжетов форма огибающей спектра сигнала на выходе фототелеграфного передающего аппарата близка к экспоненциальной (рис. 2) [1]. Для получения равномерного спектра сигнала на выходе предыскажающего устройства необходимо, чтобы затухание предыскажающего устройства на несущей частоте сигнала f_0 (рис. 2) было максимально, а далее уменьшалось по мере приближения к граничным частотам полосы пропускания телефонного канала.

Для устранения искажений сигнала на приемном конце восстанавливающее устройство должно иметь частотную характеристику затухания, обратную аналогичной характеристике предыскажающего устройства. Известно, что такими характеристиками затухания обладают пассивные T-образные LC четырехполюсники перекрытого типа. Физически реализуемые предыскажающие и восстанавливающие устройства, очевидно, должны представлять собой взаимно обратные четырехполюсники минимально-фазового типа, т. е. нули функции передачи предыскажающего контура должны соответствовать полюсам функции передачи восстанавливающего контура, и наоборот. На рис. 3, *а* представлена принципиальная схема предыскажающего контура, а на рис. 3, *б* — принципиальная схема восстанавливающего контура для предыскажений на средней частоте $f = 1{,}85$ *кгц* типового телефонного канала ($f_1 = 300$ *гц*, $f_2 = 3400$ *гц*)

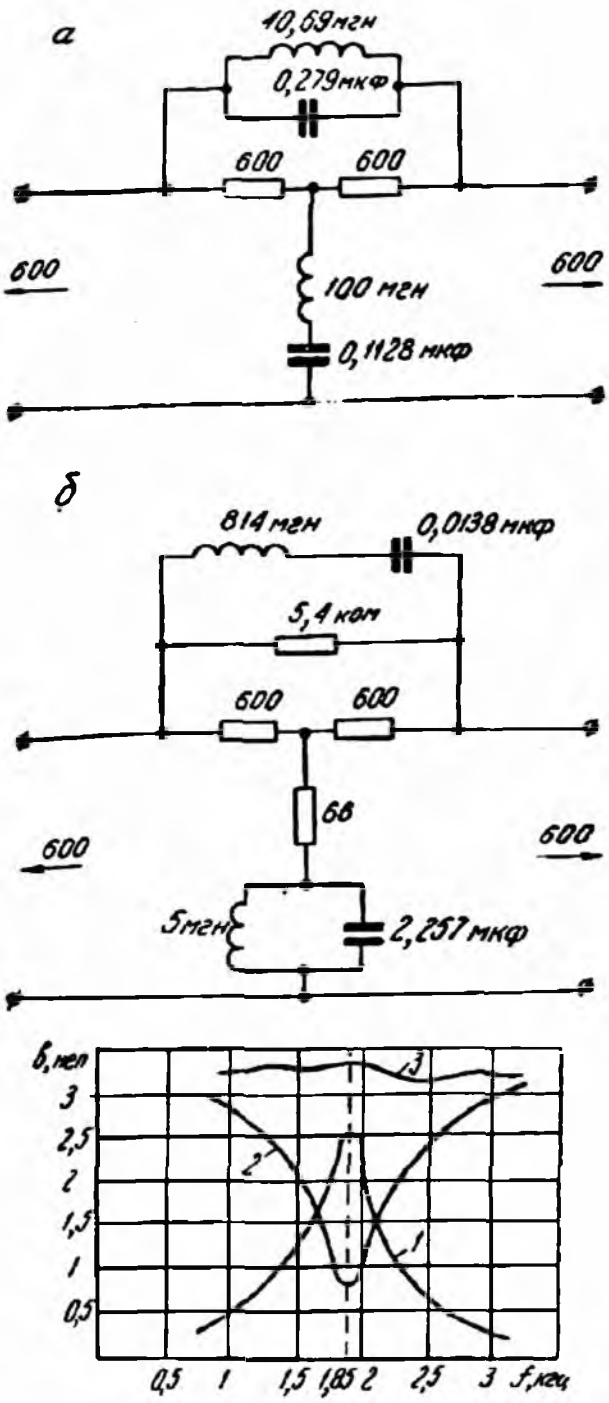

Рис. 3. Принципиальные схемы предыскажающих устройств и их частотные характеристики

а — принципиальная схема предыскажающего устройства; *б* — принципиальная схема восстанавливающего устройства; *в* — частотные характеристики затухания *1* — предыскажающего контура; *2* — восстанавливающего контура; *3* — их результирующая характеристика.

На рис. 3, *в* представлены экспериментально полученные частотные характеристики предыскажающего контура (кривая *1*), восстанавливающего контура (кривая *2*) и их результирующая характеристика (кривая *3*). Затухание, вносимое обоими устройствами, компенсируется включением дополнительного усилителя после предыскажающего контура.

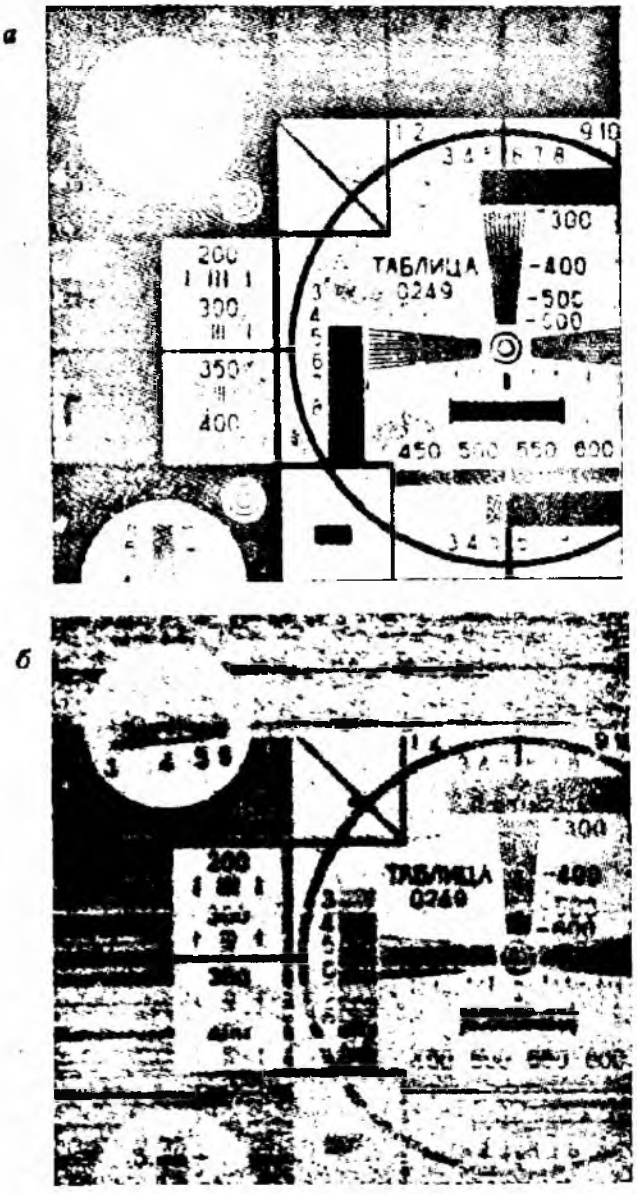

Рис. 4. Изображение таблицы № 0249, переданное по радиорелейной линии с двумя ретрансляциями:

а — при отсутствии предыскажений; *б* — при наличии предыскажений.

Применение предыскажающих устройств было экспериментально проверено на радиорелейных линиях в лабораторных и полевых условиях. Устройства включались в аппаратуру уплотнения оконечных станций радиолинии. По экспериментальным данным, в том случае, когда в канальном оборудовании упомянутых устройств на трассе, выбранной в среднелесистой и степной местности, имеется две ретрансляции сиг-

нала, величина мощности шумов (флуктуационных и переходных) на выходе телефонного канала оконечной станции снижается до 12 ÷ 13 *пет*; если предыскажения отсутствуют, эта величина составляет 40 — 42 *пет* [2]. Снижение мощности шумов в телефонном канале позволяет на трассе протяженностью 200 *км* сократить число промежуточных станций с четырех до трех или соответственно увеличить дальность связи (на среднелесистой и степной местности) между двумя станциями на 10 ÷ 15 *км*.

На рис. 4, *а* представлена телевизионная испытательная таблица № 0249, переданная по телефонному каналу радиорелейной линии на трассе с двумя ретрансляциями сигнала при отсутствии предыскажающих устройств. На рис. 4, *б* приведено то же изображение, но полученное при введении предыскажений на несущей частоте $f_0 = 1{,}85$ *кгц* (используемая схема устройств изображена на рис. 3, *а* и 3, *б*). Для передачи и приема изображений применялась серийная фототелеграфная аппаратура «Нева». Изображения (рис. 4, *а* и 4, *б*) получены при глубине модуляции $m = 0{,}3$ и использовании для приема фотобумаги «Унибром» № 3. Из сравнения рисунков видно, что включение предыскажающих устройств в аппаратуру уплотнения станций радиорелейных линий значительно улучшает качество принимаемых фототелеграфных изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Гармаш, Н. Е. Кириллов, Д. С. Лебедев. Экспериментальное исследование статистических свойств источников сообщений. Сб. «Проблемы передачи информации», т. VI, вып. 5. Изд-во лаборатории систем передачи информации АН СССР, 1960.

2. В. К. Маригодов. Коррекция сигналов изображения в каналах узкополосных радиорелейных линий связи. Сб. «Труды учебных институтов связи», вып. 14. Изд-во Ленинградского электротехнического института связи им. М. А. Бонч-Бруевича, 1963.

3. Н. А. Овсеевич, М. С. Пинскер. Оптимальное линейное предыскажение и корректирование сигнала при передаче его по многопутевой системе. Изв. АН СССР отделение технических наук, раздел «Энергетика и автоматика», № 2, 1959.

4. В. И. Смирнов. Курс высшей математики, т. IV. Физматгиз, 1951.