

РАДИОТЕХНИКА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



1970

ОРГАН
НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБЩЕСТВА
РАДИОТЕХНИКИ,
ЭЛЕКТРОНИКИ
И СВЯЗИ
им. А. С. ПОПОВА

РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ

- Доктор технических наук,
проф. Г. З. Айзенберг
- Доктор технических наук,
проф. Г. Д. Бурдун
- Доктор технических наук,
проф. И. Е. Горон
(зам. редактора)
- Доктор технических наук,
проф. С. И. Евлянов
- Доктор технических наук,
проф. Я. С. Ицхоки
- Доктор технических наук,
проф. С. И. Катаев
- Доктор технических наук,
проф. И. Г. Клячкин
- Доктор технических наук,
проф. А. М. Кузнецов
- Доктор технических наук,
проф. А. А. Куликовский
- Доктор технических наук,
проф. И. В. Лебедев
- Инженер Н. Т. Макаркин
- Доктор технических наук,
проф. С. Ф. Матвеевский
- Доктор технических наук,
проф. З. И. Модель
- Кандидат технических наук,
доцент В. Ф. Нестерук
- Член-корр. АН СССР
В. И. Сифоров
- Инженер А. А. Сорокин
- Кандидат технических наук,
доцент Е. Л. Черенкова
- Доктор технических наук,
проф. Н. И. Чистяков
(редактор)

Групповая синхронизация систем передачи дискретной информации методом вращающейся фазы. В. И. Назаров	1
Помехоустойчивость радиоприемника ЧТ с ограничителем при флуктуационной помехе О. В. Голловин	10
Энергетические спектры случайных последовательностей радиоимпульсов. Б. Р. Левин, Л. С. Виленич	18
О помехоустойчивости когерентного приема в условиях шумов и мешающих сигналов. А. А. Сикарев	22
Об оптимальном приеме при воздействии «небелого» шума. А. И. Фалько	29
Полосовые фазовращатели с двойным Т-образным мостом. Е. И. Куфлевский, Г. Г. Коваленко	34
Антенна типа «Волновой канал» с модулированной фазовой скоростью. О. Н. Терешин, Л. Н. Кузнецов	39
Анализ Н-неоднородностей в прямоугольном волноводе. В. И. Вольман	44
О собственных колебаниях бесконечной системы открытых диэлектрических волноводов. Г. И. Веселов, В. М. Крехтунов	52
Осесимметричное возбуждение системы двух идеально проводящих соосных дисков. Т. А. Гургенидзе, Е. В. Захаров, Ю. В. Пименов	59
Устойчивость транзисторного усилителя с общим эмиттером и его частотная и фазовая характеристики. К. А. Щуцкой	65
О точности измерения параметров сигнала на выходе канала со случайными параметрами А. П. Трифионов	70
Об учете колебаний скорости воспроизведения в некоторых типах временных компрессоров. В. М. Чернищев	74
Статическое и динамическое поле магнитной головки. А. И. Вичес	78
О расчете постоянных распространения волн в ЛБВ на спирали. Л. Н. Лошаков, Е. Б. Ольдерогге	84
Стабилизатор постоянного напряжения с непрерывным и импульсным регулированием. В. Е. Китаев, Б. В. Горбачев	91
Применение магнитной дезаккомодации для увеличения скорости перестройки контуров с ферритовыми сердечниками. Л. Б. Розенбаум, Б. М. Гутнер	98

Краткие сообщения

О квазипериодически коррелированных случайных процессах. А. А. Каяцкас	102
Анализ методов магнитной записи с самосинхронизацией. М. В. Гитлиц	104
О воздействии суммы синусоидальных напряжений на нелинейную систему А. П. Волкостов	106
К расчету фронта импульса двухкаскадного транзисторного ключа с трансформаторами. И. Л. Цехновицер	108
Рецензия на книгу Н. И. Калашникова. «Системы связи через ИСЗ». Н. Т. Петрович	110

В НТОРЭС им. А. С. Попова

Х отчетно-выборная конференция Одесского областного правления НТОРЭС им. А. С. Попова. М. Е. Вайнберг	111
---	-----

О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА НА ВЫХОДЕ КАНАЛА СО СЛУЧАЙНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Вопросам приема сигналов, прошедших канал со случайными параметрами, посвящены работы [1, 2] и др. Однако в них, как правило, ограничиваются рассмотрением задачи обнаружения (или различения) таких сигналов. В то же время в ряде случаев возникает необходимость в оценке параметров сигнала на выходе канала со случайными параметрами. В связи с этим рассмотрим оптимальную (по методу максимума функции правдоподобия) оценку произвольного параметра такого сигнала, принимаемого на фоне стационарного нормального шума.

Итак, пусть на вход приемного устройства в течение времени $[0; T]$ поступает смесь сигнала и помехи:

$$x(t) = n(t) + u(t, l_0) \quad 0 \leq t \leq T, \quad (1)$$

где $n(t)$ — стационарный нормальный шум с нулевым средним значением и функцией корреляции $K(t_1 - t_2)$; $u(t, l_0)$ — принимаемый сигнал, который для линейного канала передачи можно записать в виде

$$u(t, l_0) = \int_0^t v(t - \tau) s(\tau, l_0) d\tau. \quad (2)$$

Здесь $s(\tau, l_0)$ — передаваемый сигнал, содержащий неизвестный параметр l_0 , $v(t)$ — импульсная переходная функция канала.

Положим, что $v(t)$ — нормальный случайный процесс со средним значением $v_0(t)$ и функцией корреляции $Q(t_1 - t_2)$. Будем считать, что $n(t)$ и $v(t)$ независимы. Поскольку входной сигнал (1) является нестационарным нормальным случайным процессом с функцией корреляции

$$B(t_1, t_2, l) = K(t_1 - t_2) + \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} Q[(t_2 - t_1) - (\tau_2 - \tau_1)] s(\tau_1, l) s(\tau_2, l) d\tau_1 d\tau_2 \quad (3)$$

и средним значением

$$A(t, l) = \int_0^t v_0(t - \tau) s(\tau, l) d\tau, \quad (4)$$

то с точностью до слагаемых, не зависящих от l , выражение для логарифма функции правдоподобия параметра l можно записать в виде

$$M(l) = -\frac{1}{2} \int_0^T \int_0^T [x(t_1) - A(t_1, l)][x(t_2) - A(t_2, l)] \Theta(t_1, t_2, l) dt_1 dt_2 - \\ - \frac{1}{2} \int_0^T \int_0^T \int_0^l \frac{\partial B(t_1, t_2, l)}{\partial l} \Theta(t_1, t_2, l) dl dt_1 dt_2, \quad (5)$$

где функция $\Theta(t_1, t_2, l)$ является решением интегрального уравнения

$$\int_0^T B(t_1, t, l) \Theta(t, t_2, l) dt = \delta(t_1 - t_2). \quad (6)$$

Выражение для логарифма функции правдоподобия параметра l (5) непосредственно следует из ф-лы (1.4.5) в [3].

Таким образом, оптимальное приемное устройство по принятым данным (1) должно вырабатывать сигнал, пропорциональный (5) при различных значениях l . Значение $l = l_m$, при котором (5) обращается в максимум максимум, представляет собой оценку параметра l_0 .

Известно^[4], что надежную оценку параметра сигнала методом максимального правдоподобия можно получить лишь при достаточно больших отношениях сигнал/шум, т. е. когда абсолютный максимум логарифма функции правдоподобия лежит вблизи истинного значения параметра. Будем полагать, что отношение сигнал/шум достаточно велико, т. е. что велико z_0 :

$$z_0 = \int_0^T \int_0^T \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} v_0(t_1 - \tau_1) v_0(t_2 - \tau_2) s(\tau_1, l_0) s(\tau_2, l_0) \Theta(t_1, t_2, l_0) d\tau_1 d\tau_2 dt_1 dt_2 + \\ + \int_0^T \int_0^T \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} Q[(t_2 - t_1) - (\tau_2 - \tau_1)] s(\tau_1, l_0) s(\tau_2, l_0) \Theta(t_1, t_2, l_0) d\tau_1 d\tau_2 dt_1 dt_2. \quad (7)$$

Перепишем принимаемую сумму сигнала и помех (1) в виде

$$x(t) = u_0(t, l_0) + u_1(t, l_0) + n(t), \quad (8)$$

где $u_0(t, l_0) = \int_0^t v_0(t - \tau) s(\tau, l_0) d\tau$; $u_1(t, l_0) = \int_0^t [v(t - \tau) - v_0(t - \tau)] \times \\ \times s(\tau, l_0) d\tau$.

Учитывая (6), получаем, что первое слагаемое в (7) характеризует отношение энергии регулярной составляющей полезного сигнала $u_0(t, l_0)$ к мощности флуктуирующих составляющих в (8) (с учетом их спектральных характеристик), а второе слагаемое в (7) характеризует отношение мощности флуктуирующей составляющей полезного сигнала $u_1(t, l_0)$ к суммарной мощности флуктуирующих членов в (8).

Определим смещение

$$\langle \Delta l \rangle = \langle l_m - l_0 \rangle$$

и дисперсию оценки параметра l

$$\sigma^2(l) = \langle \Delta l^2 \rangle - \langle \Delta l \rangle^2.$$

Здесь угловые скобки означают усреднение по всевозможным реализациям $n(t)$ и $v(t)$.

Оценка, оптимальная по методу максимума функции правдоподобия, определяется из решения уравнения

$$\left[\frac{dM(l)}{dl} \right]_{l_m} = 0.$$

Следовательно, разложив $M(l)$ в ряд Тейлора в окрестностях истинного значения параметра l_0 и ограничиваясь первыми тремя членами разложения, получим

$$\Delta l = - \left[\frac{dM(l)}{dl} / \frac{d^2 M(l)}{dl^2} \right]_{l_0}.$$

Подставляя в (5) $x(t)$ из (1), $u(t, l_0)$ из (2), $A(t, l)$ из (4) и $B(t_1, t_2, l)$ из (3), после дифференцирования по l имеем

$$\left[\frac{d^2 M(l)}{dl^2} \right]_{l_0} = -P + N,$$

где

$$P = \int_0^T \int_0^T \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} \left\{ \frac{\partial s(\tau_1, l)}{\partial l} \left[\gamma_0(t_1 - \tau_1) \gamma_0(t_2 - \tau_2) \frac{\partial s(\tau_2, l)}{\partial l} \Theta(t_1, t_2, l) - \right. \right. \\ \left. \left. - Q[(t_2 - t_1) - (\tau_2 - \tau_1)] s(\tau_2, l) \frac{\partial \Theta(t_1, t_2, l)}{\partial l} \right] \right\} d\tau_1 d\tau_2 dt_1 dt_2, \quad (9)$$

а среднее значение второго слагаемого равно нулю. Действительно,

$$\langle N \rangle = -\frac{1}{2} \left\{ \int_0^T \int_0^T \langle n(t_1) n(t_2) \rangle \frac{\partial^2 \Theta(t_1, t_2, l)}{\partial l^2} dt_1 dt_2 + \int_0^T \int_0^T \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} \langle [\gamma(t_1 - \tau_1) - \right. \\ \left. - \gamma_0(t_1 - \tau_1)] [\gamma(t_2 - \tau_2) - \gamma_0(t_2 - \tau_2)] \rangle s(\tau_1, l) s(\tau_2, l) \frac{\partial^2 \Theta(t_1, t_2, l)}{\partial l^2} \times \right. \\ \left. \times d\tau_1 d\tau_2 dt_1 dt_2 + \int_0^T \int_0^T \frac{\partial^2 B(t_1, t_2, l)}{\partial l^2} \Theta(t_1, t_2, l) dt_1 dt_2 + 2 \int_0^T \int_0^T \frac{\partial B(t_1, t_2, l)}{\partial l} \times \right. \\ \left. \times \frac{\partial \Theta(t_1, t_2, l)}{\partial l} dt_1 dt_2 \right\}_{l_0} = -\frac{1}{2} \left[\frac{d^2}{dl^2} \int_0^T \int_0^T B(t_1, t_2, l) \Theta(t_1, t_2, l) dt_1 dt_2 \right]_{l_0}. \quad (10)$$

Но согласно (3)

$$B(t_1, t_2, l) = B(t_2, t_1, l)$$

и, следовательно, учитывая (6), имеем

$$\langle N \rangle = -\frac{1}{2} \int_0^T \left[\frac{d^2}{dl^2} \int_0^T B(t_2, t_1, l) \Theta(t_1, t_2, l) dt_1 \right]_{l_0} dt_2 = 0. \quad (11)$$

Так как отношение сигнал/шум велико, то $P^2 \gg \langle N^2 \rangle$ и в первом приближении для случайной ошибки измерения можем записать

$$\Delta l = \left[\frac{dM(l)}{dl} \right]_{l_0} P^{-1}. \quad (12)$$

Соответственно для смещения оценки получаем

$$\langle \Delta l \rangle = \left\langle \left[\frac{dM(l)}{dl} \right] \right\rangle_{l_0} P^{-1}.$$

Аналогично (10) и (11) нетрудно показать, что

$$\left\langle \left[\frac{dM(l)}{dl} \right] \right\rangle_{l_0} = 0$$

и, таким образом, оптимальная оценка в первом приближении будет несмещенной.

Вычисляя второй момент (12), для дисперсии оценки параметра l получим выражение

$$\sigma^2(l) = P^{-1}. \quad (13)$$

Если $Q(t_1 - t_2) \equiv 0$, т. е. импульсная переходная функция канала детерминирована, то, считая параметр l неэнергетическим [4, 5], можем переписать (13) в виде

$$\sigma^2(l) = - \left[\frac{d^2 S(l_0, l)}{dl^2} \right]_{l_0}^{-1}, \quad (14)$$

где

$$S(l_0, l) = \int_0^T u_0(t, l_0) v(t, l) dt,$$

а $v(t, l)$ — решение уравнения

$$\int_0^T K(t_1 - t) v(t, l) dt = u_0(t_1, l).$$

Формула (14) полностью совпадает с известной формулой для дисперсии оценки неэнергетического параметра при приеме сигнала $u_0(t, l)$ [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Возенкрафт. Лекции по теории систем связи. Пер. с англ. Изд. «Мир», 1964.
2. В. М. Смольянинов, Л. П. Филиппов. «Радиотехника», т. 22, 1967, № 2.
3. П. А. Бакут и др. Под ред. Г. П. Тартаковского. Вопросы статистической теории радиолокации, т. 1. Изд. «Советское радио», 1963.
4. Е. И. Куликов. «Радиотехника», т. 17, 1962, № 7.
5. В. И. Тихонов. Статистическая радиотехника. Изд. «Советское радио», 1966.

Статья поступила 29 августа 1968 г., после переработки — 30 июня 1969 г.

НОВЫЕ КНИГИ

Б. И. Курилин. Колебательные системы из отрезков фидерных линий. Изд. «Техника», Киев, 1969, 284 стр., цена 1 р. 02 к.

Изложены современные методы анализа и синтеза колебательных систем свч, выполненных в виде отрезков однородных, составных (ступенчатых), неоднородных фидерных линий с произвольными комплексными нагрузками на концах, а также в виде сложного соединения отрезков линий. Рассмотрены критерии оптимальности колебательной системы, вопросы выбора ее оптимальной электрической схемы и оптимальных геометрических размеров, одновременной оптимизации нескольких внешних параметров и получения заданных законов изменения параметров в диапазоне перестройки.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием радиоаппаратуры.

Н. Т. Петрович, А. С. Сухору-

ков. Оптимизация работы режимов многоканальных фазовых систем при нелинейном групповом тракте. Изд. «Связь», М., 1970, 95 стр., цена 25 к.

Строится математическая модель многоканального дискретного сигнала с частотным уплотнением. Показывается ее справедливость для инженерных расчетов. Проводится анализ этой модели при наличии нелинейности группового тракта. Показывается, что относительная фазовая манипуляция лучше противостоит продуктам нелинейности, чем частотная. Большое внимание уделено исследованию введения ограничения пиков многоканального сигнала. Показано, что этот метод компенсации вносимых искажений позволяет реализовать эквивалентное повышение мощности передатчика в 1,5—2 раза, что особенно существенно, например, при ретрансляторе на ИСЗ.

Брошюра рассчитана на специалистов в области радиосвязи.