

3 Технічні засоби системи захисту інформації. Стандартизація та метрологічне забезпечення систем ТЗІ. Визначення відповідності засобів ТЗІ

Дмитрий Вергелес, Геннадий Леоненко, Андрей Паламарчук, Алексей Юдин
ГосНИИ Спецсвязи
УДК 621.396.4

ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ В СТАНЦИИ ТРОПОСФЕРНОЙ СВЯЗИ

Аннотация: В кратком виде излагаются особенности формирования шумоподобных сигналов и обработки их согласованным фильтром на поверхностных акустических волнах для повышения энергетической эффективности станций тропосферной связи нового поколения.

Summary: In a short type features of formation of noise-like signals and processing by their matched filter on acoustic surface waves for increase of power efficiency of stations of tropospheric communication of new generation are stated.

Ключевые слова: Шумоподобные сигналы, согласованный фильтр, корреляционная обработка сигнала, поверхностные акустические волны, тропосферная связь.

Тропосферный канал является многолучевым каналом связи, который характеризуется замираниями и искажениями передаваемого сигнала. Многолучевость приводит к межсимвольной интерференции и обуславливает наличие несократимых ошибок, исключение которых представляет значительную трудность даже при значительной энергетике радиолинии [1 – 3]. Устойчивая связь с использованием такого канала связи требует высокого энергетического потенциала радиолиний, что делает ее энергетически неэффективной. Повышение энергетической эффективности на несколько децибел может расширить сферу применения тропосферной связи и дать значительный экономический эффект от ее использования [4].

Для борьбы с межсимвольной интерференцией исследуются так называемые активные методы [1, 5]. Один из таких методов заключается в использовании сигналов, получивших названия шумоподобных (ШПС). Особенность этих сигналов заключается в том, что произведение их длительности на занимаемую полосу, что принято называть базой (B_c) ШПС, значительно больше единицы и может лежать в пределах 10 до 10^4 .

ШПС имеют свойства «сжатия» в B_c раз, что и определяет возможность их использования для повышения энергетической эффективности и устранения влияния межсимвольной интерференции на устойчивость тропосферной связи. Кроме этого ШПС могут обеспечить работу системы тропосферной связи «под помехами и шумами», повысить устойчивость к организованным помехам и разделить сигналы по форме при их работе в общем диапазоне частот при наличии интенсивных помех.

В то же время следует отметить, что ШПС имеют много специфических особенностей и свойств, без учета которых невозможно корректно оценить возможности их применения для повышения энергетической эффективности станции тропосферной связи и решить вопросы связанные с построением аппаратуры такой станции [5 – 8]. В силу сложности обработки ШПС при больших скоростях передачи информации из-за значительной занимаемой полосы эти сигналы используются только в тех случаях, когда другие сигналы не эффективны [8].

ШПС характеризуются:

- автокорреляционными свойствами;
- взаимно корреляционными свойствами ансамбля сигналов;
- числом различных сигналов N_c при некоторой базе сигнала B_c ;
- видом спектра сигнала;
- правилом (законом) формирования;
- особенностями формирования и обработки.

В зависимости от назначения радиосистемы могут рассматриваться и другие параметры ШПС.

Для выбора ШПС недостаточно знать только их временные и частотные характеристики, необходимо учитывать также их автокорреляционные и взаимно корреляционные характеристики [7].

Дмитрий Вергелес, Геннадий Леоненко, Андрей Паламарчук, Алексей Юдин ©

Автокорреляционные свойства сигнала, определяющие взаимосвязь между сигналом и его сдвинутой во времени копией, описываются функцией автокорреляции $R(t)$. Функция автокорреляции может быть записана следующим образом

$$R(t) = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} u(T)u(T-t)dt \quad (1)$$

где $u(T)$ – сигнал u как функция времени T , E – энергия сигнала, t – сдвиг (задержка) сигнала во времени

Автокорреляционные свойства сигнала принято характеризовать отношением уровня основного (сжатого) сигнала (лепестка) к уровням боковых сигналов (лепестков). Численно уровень боковых лепестков для правильно выбранных и сформированных сигналов не должен превышать $1/B_c$ [6, 8].

Взаимно корреляционные свойства сигнала характеризуются реакцией согласованного фильтра на различные входные сигналы. Эта функция определяет взаимосвязь между возможными входными сигналами на всем временном промежутке их существования. Взаимно корреляционная функция может быть записана следующим образом

$$R_{ml}(t) = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} u_m(T)u_l(T-t)dt \quad (2)$$

Как известно, наилучшими взаимно корреляционными свойствами обладают ортогональные сигналы, т.е. сигналы удовлетворяющие условию

$$\int_{-\infty}^{\infty} u(T)u(T-t)dt = 0 \quad (3)$$

При таком подходе к выбору сигналов, уровень боковых лепестков также не превышает $1/B_c$.

Число возможных различных сигналов S_c при некоторой базе сигнала определяет ансамбль сигналов, который можно использовать в системе. Большой ансамбль сигналов требуется для создания многоадресной системы, сменности сигналов или для увеличения скорости передачи информации.

В [8] показано, что с ростом B_c , число возможных различных сигналов S_c , увеличивается. Сравнить сигналы по этому параметру следует лишь при некоторой определенной базе B_c . Из всех S_c определенное число сигналов может оказаться ортогональными или квазиортогональными. Ортогональность сигналов определяется вдоль временной оси как при отсутствии относительного сдвига между ними («в точке»), так и при произвольном сдвиге между сигналами («ортогональность на временном отрезке»). Подавляющее большинство ШПС не являются ортогональными при произвольном временном сдвиге, а лишь только квазиортогональными. Степень ортогональности принято оценивать уровнем максимальных боковых лепестков функции взаимной корреляции или среднеквадратичным значением уровня боковых лепестков по отношению к уровню основного лепестка автокорреляционной функции [5].

Известно большое число ШПС, которые можно подразделить на сигналы с непрерывным изменением частоты (ЧМ) и фазоманипулированные сигналы.

Сигналы ЧМ в тропосферных системах связи имеют ограниченное применение из-за малого ансамбля таких сигналов [7].

Фазоманипулированные сигналы построены с использованием линейных рекуррентных последовательностей (ЛРП). Наибольшее распространение получили последовательности Хаффмена. Эти последовательности имеют большой ансамбль и хорошие корреляционные свойства, а также просты в формировании. При необходимости увеличения ансамбля таких сигналов можно использовать логическую операцию относительного смещения двух исходных сигналов Хаффмена и их сложения по модулю 2. При этом вновь образованные сигналы обладают теми же корреляционными свойствами, что и исходные сигналы [8].

Фаза фазоманипулированных сигналов, сформированных на основе последовательностей Хаффмена, принимает значения 0 или π . Эти сигналы еще называются М-последовательностями, двоичными линейными рекуррентными последовательностями максимального периода [8].

Один из таких фазоманипулированных ШПС и его спектр представлены на рис. 1, а огибающая функции автокорреляции – на рис. 2.

Ширина главного лепестка спектра фазоманипулированного сигнала при модулировании несущей последовательностью ШПС составит $2/T_3$, где T_3 – длительность элемента ШПС. Важным преимуществом фазоманипулированных сигналов является постоянство огибающей их спектра, что допускает работу передатчика в нелинейном режиме и позволяет получить максимальную выходную мощность усилителя мощности передатчика и повысить его КПД. Кроме этого, в спектре фазоманипулированного сигнала (рис. 1) подавлена несущая, на передачу которой также не тратится мощность передатчика.

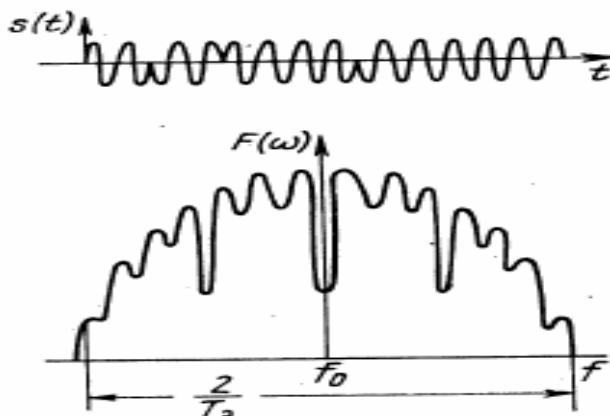


Рисунок 1 - Фазоманипулированный ШПС и его спектр

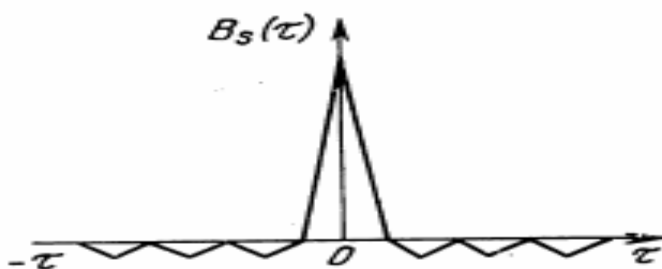


Рисунок 2 - Фазоманипулированный ШПС и его амплитудный спектр

Следует обратить внимание на то, что в настоящее время целым рядом фирм серийно выпускаются модуляторы, обеспечивающие необходимые характеристики для систем радиосвязи различного назначения.

Методы формирования ШПС могут быть разнообразными. Для станции тропосферной связи рассматриваются только «цифровые» методы как наиболее распространенные в технике связи. Они позволяют использовать небольшой объем аппаратуры для формирования выбранных последовательностей. Кроме того, к их достоинствам относится и то, что основная часть аппаратуры собирается из типовых элементов цифровой техники. В передатчике, в зависимости от поступивших на вход первичных сигналов, отображающих символы сообщения, генерируется та или иная последовательность. Для формирования радиосигнала последовательность подается на модулятор. В случае последовательностей с фазовой манипуляцией в качестве модулятора может быть использован быстродействующий коммутатор, который пропускает на вход усилителя мощности синусоидальный сигнал генератора несущей частоты либо в одной фазе, либо в противоположной. Следует также отметить, что фазовая манипуляция, являясь частотно неэффективной, имеет наибольшую энергетическую эффективность из всех известных видов манипуляции [7].

Определение базы ШПС и выбор M-последовательности производится после предварительного расчета радиолинии тропосферной связи исходя из:

- заданной эффективной изотропно излучаемой передатчиком мощности;
- качества приемной системы и необходимого значения отношения энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума $h^2_{пор}$.

Минимальная база сигнала [8] определяется выражением

$$B_c > 2T_c / T_s, \tag{4}$$

где T_c - длительность ШПС, T_s - длительность элемента в ШПС.

Расчет радиолинии тропосферной связи в общем виде изложен в [2, 3, 5]. Реализация свойств ШПС возможна только при их оптимальной обработке. В работе [5] приведен анализ принципов построения устройств обработки ШПС и показано, что эти устройства могут быть выполнены с применением либо корреляционного, либо фильтрового способа обработки.

При корреляционной обработке ШПС производится вычисление корреляционного интеграла

$$z = \int_0^T x(t)u(t)dt \tag{5}$$

Пределы интегрирования учитывают отрезок времени $[0, T]$, в котором может появиться входной

сигнал $x(t)$, а $u(t)$ сигнал, равный обнаруживаемому и формируемый в приемнике.

Значение корреляционного интеграла (5) находится с помощью коррелятора или согласованного фильтра. Основными элементами коррелятора являются перемножитель, генератор копии сигнала и интегратор. На перемножитель поступают входной сигнал $x(t)$ и сигнал $u(t)$ от генератора копий сигнала. Произведение $x(t)u(t)$ интегрируется с момента прихода ($t=0$) и до момента окончания обнаруживаемого сигнала ($t=T$). Известно [5], что коррелятор является устройством с переменными параметрами, так как режим его работы зависит от изменения $u(t)$ во времени. Поскольку операции умножения и интегрирования линейны, то коррелятор является линейным устройством с переменными параметрами, и называется активным фильтром в отличие от пассивных фильтров, параметры которых постоянны во времени [5]. Учитывая, что активный фильтр при обработке производит вычисление корреляционного интеграла для большого ряда дискретных значений, то с целью обеспечения требуемых характеристик обнаружения или измерения параметров необходимо многоканальное устройство с числом каналов $N \gg B_c$ обрабатываемого ШПС.

Существенно сократить число каналов можно при использовании пассивных согласованных фильтров (СФ). Напряжение $v(t)$ на выходе такого фильтра в момент t равно

$$v(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t_1)b(t-t_1)dt_1 \quad (6)$$

где $b(t)$ – импульсный отклик фильтра.

Импульсный отклик фильтра $b(t)$ представляет собой зеркальный или обращенный во времени сигнал, имеющий задержку t_0 , и в случае использования его для обработки ФМ ШПС определяется выражением

$$b(t) = s(t_0 - t) \quad (7)$$

где t_0 - постоянная задержка.

Кроме этого СФ инвариантен относительно задержки сигнала и его начальной фазы (насколько эта величина изменяется в сигнале на входе фильтра, настолько она изменяется и в сигнале на выходе), а коррелятор не инвариантен. При использовании согласованного фильтра имеет место сжатие сигнала во временной области и амплитуда сигнала на выходе согласованного фильтра возрастает в B_c раз. Коррелятор после компенсации фазовых изменений в сигнале производит сжатие сигнала в B_c раз в частотной области. При этом происходит сужение полосы сигнала и увеличение его длительности, а не амплитуды. Компенсация фазовых изменений принятого тропосферного сигнала при наличии межсимвольной интерференции и быстрых замираний практически представляет неразрешимую задачу. Кроме того, не известны корреляторы, работающие на радиочастоте, что также значительно снижает эффективность их работы в тропосферных каналах связи.

Учитывая это, а также статистические характеристики коэффициентов передачи канала тропосферной связи в частотной и временной областях [1, 5], для обработки ШПС в станциях тропосферной связи необходимо использовать согласованные фильтры, работающие на радиочастоте [1, 5, 7, 8].

Процедура синтеза СФ сводится к созданию дискретной задерживающей системы, фазированию задержанных во времени сигналов $s(T - kT_s)$ и их суммированию.

Имеется несколько способов реализации СФ. Наиболее эффективно реализовать СФ на поверхностных акустических волнах (ПАВ) [9]. При таком способе реализации достигаются предельные параметры СФ, определяемые исходя из значения h^2 , которое необходимо получить на его выходе. Значение h^2 задается или определяется по результатам предварительного расчета радиолинии тропосферной связи и, как известно, связано с базой сигнала соотношением [6]

$$h^2 = \frac{P_C}{P_{II}} B_c \quad (8)$$

где P_C – мощность сигнала, P_{II} – мощность помехи

Выводы

1. Использование ШПС в разрабатываемых станциях тропосферной связи нового поколения позволит эффективно устранять влияние межсимвольной интерференции на устойчивость связи и повысит энергетическую эффективность таких станций. Кроме этого, использование ШПС сможет обеспечить работу системы тропосферной связи «под помехами и шумами», а также повысить ее устойчивость к организованным помехам.

2. Выбор ШПС должен проводиться с учетом частотных, временных, автокорреляционных и взаимно корреляционных характеристик. Выбранные сигналы должны быть ортогональными. Этим требованиям отвечают последовательности Хаффмена, перенесенные в радиочастотный диапазон с использованием фазовой манипуляции.

3. База ШПС определяется по результатам предварительного расчета радиолинии тропосферной связи, исходя из необходимого значения отношения энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума h^2 .

4. С учетом статистических характеристик коэффициента передачи канала тропосферной связи, для обработки ШПС необходимо использовать СФ, работающие на радиочастоте, так как они инвариантны к относительной задержке сигнала и его начальной фазе.

5. Наиболее эффективно реализовать СФ на ПАВ. При таком способе реализации достигаются его предельные параметры.

6. ПС используются только в тех случаях, когда применение других сигналов не эффективно. Это связано со сложностью обработки ШПС при больших скоростях передачи данных.

Список использованной литературы: 1. Серов В. В. Особенности распространения радиоволн в загоризонтных системах радиосвязи. – М.: Электросвязь, 2009, №1. 2. Давыденко Ю. И. Дальняя тропосферная связь. – М.: Воениздат, 1968. 3. Гусятинский И. А., Немировский А. С., Соколов А. В., Троцкий В. Н. Дальняя тропосферная радиосвязь. – М.: Связь, 1968. 4. Мацков А. А. Перспективы использования линий загоризонтной связи. – М.: Электросвязь, 2006, №8. 5. Методика выбора и расчета основных технических параметров аппаратуры тропосферных станций. – Ленинград: ВКАС им. Буденного С.М. 1977. 6. Варакин Л. Е. Теория сложных сигналов. – М.: Советское радио, 1970. – 371с. 7. Варакин Л. Е. Теория систем сигналов. – М.: Радио и связь, 1978. – 303 с. 8. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации под ред. В. Б. Пестрякова. – М.: Радио и связь, 1973. – 424с. 9. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах. – М.: Радио и связь, 1990. – 416 с.

Михайло Прокофьев, Василий Стеченко

НДЦ «ТЕЗИС» НТУУ КПИ

УДК 621.372

ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧКИ ЗА СЧЕТ ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ И НАВОДОК ПРИ ПЕРЕДАЧЕ В ИССЛЕДУЕМЫХ ЦЕПЯХ ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ

Анотація: Показано шлях розрахунку ймовірності правильного прийому одиниці інформації залежно від відношення сигнал/шум тестового періодичного сигналу.

Summary: Shown by calculating the probability of correct reception of units of information, depending on the signal / noise test periodic signal.

Ключевые слова: Оценка защищенности информации, побочные электромагнитные излучения и наводки.

I Введение

Информация средствами вычислительной техники обрабатывается в виде электрических сигналов. При этом в окружающее пространство излучается переменное электромагнитное поле, которое дистанционно может перехватываться и расшифровываться средствами технической разведки.

По сравнению с традиционными каналами связи информационный сигнал побочного излучения создается не специальной передающей аппаратурой, а за счет слабого излучения линий, по которым распространяется импульсный сигнал. Уровень побочного излучения обычно соизмерим с уровнем окружающего шума, поэтому оценке подлежат параметры канала связи с низким соотношением сигнал/шум. Теоретические вопросы оценки качества передачи информации достаточно подробно изучены и изложены в многих научных монографиях [1-3] по теории передачи сигналов. В данной статье рассматриваются особенности экспериментальной оценки канала передачи информации, в котором в качестве информационного сигнала используется прямоугольный импульс, а уровень полезного сигнала соизмерим с уровнем маскирующего шума.

Михайло Прокофьев, Василий Стеченко ©