

Особенности расчета тепловых шумов в приемных каналах сверхкороткоимпульсных и сверхширокополосных радиосистем

А.Н. ТИТОВ

АО «НИИП имени В.В. Тихомирова», Россия, Московская обл., г. Жуковский, ул. Гагарина, д.3, niki@nio11.niip.ru

В работе изложены особенности расчета уровней тепловых шумов и отношения сигнал/шум в приемных каналах радиосистем, использующих сверхкороткоимпульсные и сверхширокополосные сигналы. В этой связи показана специфическая роль свойств приемных и передающих импульсных антенн.

The paper describes the specifics of receiving channel thermal noise level and signal-to-noise ratio calculation for radio technical systems employing ultra-short- and ultra-wideband impulse signals. The significance of transmitting and receiving impulse radiating antennas implementation is especially underlined.

Введение

Развитие техники сверхкороткоимпульсных и сверхширокополосных сигналов накладывает отпечаток как на проектирование устройств, входящих в радиосистему (передатчиков, приемников, антенн, устройств обработки сигналов), так и на методы расчета технических характеристик устройств и системы в целом. В настоящее время длительность используемых сигналов и спектральные полосы на три и более порядка отличаются от значений, характерных для классической радиотехники. Оказывается, что при расчете уровней тепловых шумов в приемном канале, которые, как известно, пропорциональны шумовой полосе приемного канала, необходимо учитывать особенности приемной импульсной антенны. При расчете отношения сигнал/шум необходимо также учитывать специфические свойства передающей импульсной антенны.

Импульсная антенна, как приемник, генератор и сумматор тепловых шумов

Антенные устройства сверхширокоимпульсных радиосистем имеют существенные особенности. В частности, они должны обладать свойством излучать сверхкороткие во времени и компактные в пространстве импульсы электромагнитного поля. Эпюры электрического и магнитного полей представляют собой ограниченную по времени знакопеременную функцию с несколькими пересечениями нулевого уровня. В режиме приема эти антенны должны преобразовывать приходящий электромагнитный импульс в компактный импульс напряжения на своих выходных зажимах. Такие специальные антенны удобно называть импульсными [1÷3].

Обязательным свойством импульсных антенн является их сверхширокополосность в традиционном понимании, т.е. в отношении синусоидальных сигналов с большим диапазоном их частот. Следует отметить, что любая импульсная антенна является сверхширокополосной, но далеко не всякая сверхширокополосная антенна может быть использована в качестве импульсной.

Теории широкополосных антенн в части согласования с линией передачи всегда уделялось большое значение. Основными факторами, влияющими на широкополосность антенн, являются [3]:

– электрические габариты антенны на минимальной заданной частоте. Увеличение размеров антенны приводит к повышению ее потенциальной широкополосности;

– конфигурация антенны. При тех же габаритах плоская антенна предпочтительней линейной, а объемная предпочтительнее плоской:

– в отношении широкополосности важным ресурсом является введение в антенну активных потерь. При этом снижается добротность антенны как колебательной системы и уменьшаются нежелательные резонансные явления. Технически для введения потерь используются радиопоглощающие материалы, поглощающие покрытия металлических и диэлектрических частей антенны, балластные резисторы. Оказывается [3], что при прочих равных условиях произведение достижимой полосы частот на коэффициент полезного действия импульсной антенны можно считать величиной постоянной.

Коэффициент полезного действия антенны в режиме излучения определяется величиной

$$\eta = \frac{E_{изл}}{E_{под}} = \frac{E_{изл}}{E_{изл} + E_{отр} + E_{погл}} \quad (1)$$

где:

$E_{изл}$ – энергия электромагнитного поля, излученная антенной;

$E_{под}$ – энергия сигнала возбуждения антенны;

$E_{отр}$ – энергия, отраженная от входа антенны;

$E_{погл}$ – часть энергии возбуждающего сигнала, преобразованная в тепловую (активные потери).

Известно, что коэффициент полезного действия антенны в режиме излучения и в режиме приема имеет одинаковую величину. Уравнение (1) удобно переписать в следующем виде

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{E_{отр}}{E_{изл}} + \frac{E_{погл}}{E_{изл}}} \quad (2)$$

Очевидно, что снижение КПД импульсной антенны ослабляет полезный сигнал, как при излучении сверхкороткого импульса, так и при его приеме. Очевидно также, что поглощение энергии в импульсной приемной антенне сопровождается появлением на ее выходе шумового сигнала радиотепловой природы. Мощность этого излучения пропорциональна физической температуре, которая в большинстве случаев близка к 300К. В выражении (2) третий член в знаменателе связан с этим обстоятельством.

Шумовая температура антенны, в которой есть активные потери, описывается выражением [4÷6]:

$$T_a = T_a^0 \cdot \eta + T_0(1 - \eta) \quad (3)$$

где:

T_a^0 – яркостная температура внешних источников теплового излучения (фоновое излучение);

T_0 – физическая (термодинамическая) температура антенны;

На рис. 1. показана зависимость T_a от T_a^0 при $T_0=300\text{К}$ при различных яркостных температурах фона. Из рисунка следует, что коэффициент полезного действия антенны существенно влияет на ее шумовую температуру, что, несомненно, должно учитываться при анализе шумовых и энергетических характеристик приемного канала сверхкороткоимпульсных и сверхширокополосных радиосистем.

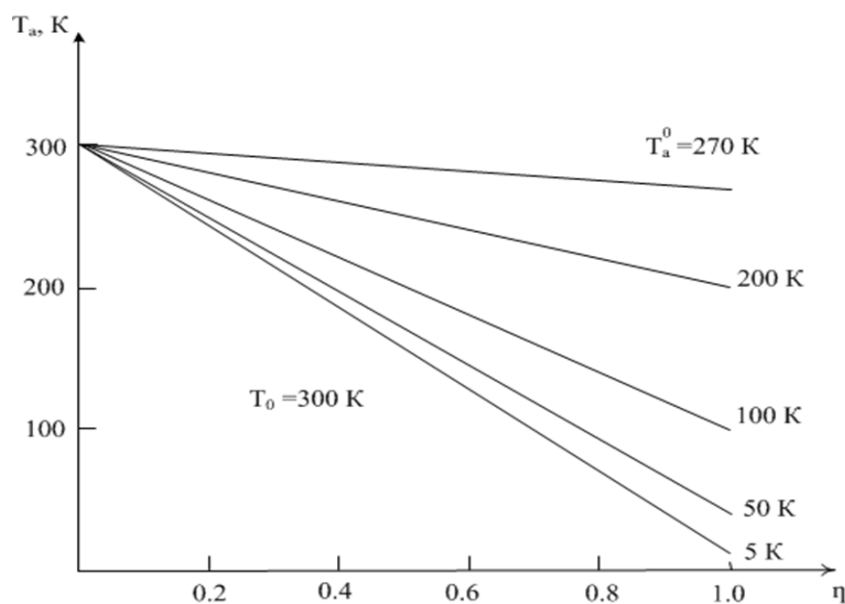


Рис. 1. Шумовая температура импульсной антенны в зависимости от ее КПД и яркостной температуры фона.

Влияние характеристик импульсной антенны на отношение сигнал/шум

Из изложенного в предыдущем разделе следует, что при расчете отношения сигнал/шум в приемных каналах сверхкороткоимпульсных и сверхширокополосных радиосистем необходимо учитывать специфические свойства импульсных антенн. Их пониженные коэффициенты полезного действия приводят к снижению энергии принимаемого сигнала в η^2 раз (в случае одинаковых передающей и приемной антенн). Для приемной импульсной антенны характерно появление собственных тепловых шумов, дающих вклад в шумовую температуру приемного канала, что ведет к дополнительному снижению отношения сигнал/шум.

Заключение

Получение приемлемых отношений сигнал/шум в приемных каналах сверхкороткоимпульсных радиосистем представляет собой серьезную проблему из-за больших спектральных полос каналов, особенностей используемых импульсных антенн, а также из-за трудностей обеспечения требуемой энергии полезного сигнала ввиду его кратковременности.

Литература

1. Titov A.N. Radio Physics and Radio Astronomy. 2002, Vol. 7, №4, pp. 479-483.
2. Titov A.N., Titov A.A. Resistive Pulse Antennas. Second Int. Workshop Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, 2004, Sevastopol, pp. 19-22.
3. Titov A.N., Gribanov A.N. Int. Conf. Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, 2012, Sevastopol, pp. 129-132.
4. Николаев А.Г., Перцов С.В. Радиотеплолокация. «Соврадио», М. 1964.
5. Цейтлин Н.М. Методы измерения характеристик антенн. М, «Радио и связь», 1985.
6. Brookner E., Radar-Con. 2008, Rome, Italy.