

МОДЕЛЬ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ КАК ИЗЛУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Маслий В.В., Цопа А.А., Цопа А.И.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина 14, кафедра основ радиотехники, тел. 702-15-87
E-mail: knure-res@kharkov.ukrtel.net; факс (057) 702-10-13

The newest universal cable line model is offered in thesis as a radiative system, which allows to determine not only noise protectability but also cable line security. Results over of calculations, proving possibility of offered model wide adaptation are also shown.

Введение. При исследовании защищенности кабельных линий связи (изучение их помехозащищенности и скрытности) важную роль играет этап моделирования линий связи (ЛС) в режиме приема и излучения электромагнитных волн (ЭМВ).

Для случая воздействия постановщика помех на аналоговый канал связи модель ЛС рассмотрена в [1]. Недостаток этой модели состоит в том, что она не может быть применена для определения скрытности кабельных каналов связи. Это связано с тем, что представление кабеля в виде эквивалентной длинной линии, не дает возможности рассмотреть задачу о его мощности излучения в окружающее пространство. Кроме того, в модели не учитываются особенности спектра цифровых сигналов, которые используются в современных системах передачи информации.

В этой связи актуальным вопросом, который решается в данном докладе является построение модели, позволяющей провести анализ, как помехозащищенности, так и скрытности кабельных каналов связи, функционирующих в составе цифровых систем передачи информации (ЦСПИ) на основе xDSL технологий.

Основная часть. В основу такой усовершенствованной модели положим представление о кабеле как о антенне. Кабель при изучении режимов приема и излучения ЭМВ может быть рассмотрен как подземная антенна диаметра d (диаметр внешней металлической оплетки кабеля).

Теория подземных антенн хорошо развита в монографии [2]. Следуя этой работе, примем такие предположения и упрощения.

1. Будем считать, что поверхность земли является плоской границей раздела двух сред: воздуха с параметрами удельной диэлектрической проницаемости ϵ_1 , волнового коэффициента k_1 и земли с параметрами удельной диэлектрической проницаемости ϵ_2 , волнового коэффициента k_2 и удельной проводимости σ_2 (рис. 1).

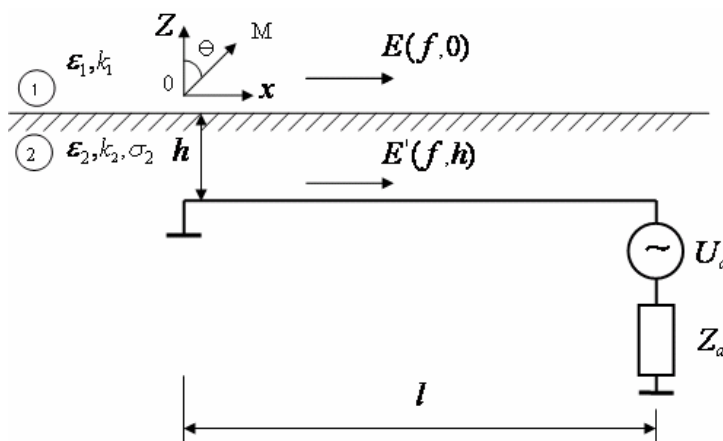


Рис. 1

2. Также предположим, что на всей длине l (рис. 1) кабель находится на глубине h от поверхности земли. В реальных ЦСПИ длина ЛС $l \approx 1..10$ км. При использовании xDSL технологий частота линейного сигнала может лежать в диапазоне $f \approx 1..10$ МГц ($\lambda \approx 30 - 200$ м), т.е. выполняются следующие условия $l/\lambda \geq 3,3..33$, $d \ll l$.

3. При указанных размерах l/λ и $h = 1$ м оболочка кабеля может быть представлена в виде стелющейся антенны. Для определения ее параметров может быть использована теория проводов конечной длины, изложенная в [2].

На рис. 1 изображена такая антенна с входным сопротивлением Z_a , конец ее заземлен т.к. концы отрезков кабеля заземляются. Второй конец системы подключен к генератору напряжения U_a , наведенного либо постановщиком помех в режиме приема и напряжением сигнала U_c модема в режиме передачи.

Рассмотрим две эквивалентные схемы (рис. 2) в режиме приема (а) и передачи (б).

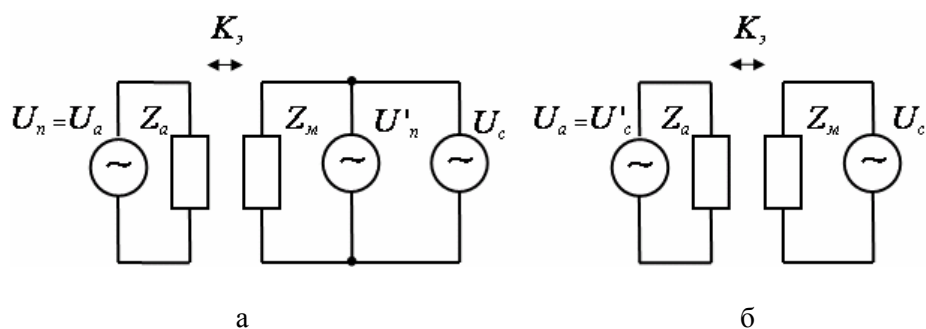


Рис. 2

При приеме ЭМВ от постановщика помех $U_a = U_n$, где U_n – наведенное напряжение помех, выделяемое на сопротивлении Z_a . За счет электромагнитной связи часть напряжения помех U'_n выделится на входном сопротивлении модема Z_m ($U'_n = K_3 \cdot U_n$). Коэффициент экранирования кабеля K_3 , характеризующий степень его защищенности, может быть определен экспериментально в интересующем диапазоне частот.

В режиме передачи напряжение сигнала U_c модема из-за неидеальности экранировки частично выделяется на входном сопротивлении антенны $U_a = U'_c = K_3 \cdot U_c$. В свою очередь это приводит к появлению излучения над границей раздела сред, которое может быть зафиксировано обнаружителем.

Рассмотрим теперь порядок определения защищенности кабельного канала связи длиной l , приближенно полагая, что соседние пролеты мало влияют на конечный результат. Это упрощение оправдано данными работы [1], где показано, что определяющий вклад в напряжение помехи вносит участок наиболее близко расположенный к постановщику помех.

Запишем, следуя [2], формулы, необходимые для проведения расчетов. Рассмотрим вначале случай воздействия на ЦСПИ постановщика помех, создающего у поверхности земли напряженность поля $E(f, 0)$ (см. рис. 1).

Тогда напряженность электрического поля на глубине h равна

$$E'(f, h) = E(f, 0)L(f, h) = E(f, h) \cdot \frac{k_1^2}{k_2^2} \cdot e^{-\chi} = \cos \theta \cdot \cos \varphi \cdot e^{ik_1 \cdot \lambda \cdot \cos \varphi} \cdot e^{-\chi},$$

где $L(f, h)$ – коэффициент затухания в почве.

$$\chi = k_1 \cdot h \cdot \text{Im} \sqrt{\varepsilon_2' - 1}, \quad \varepsilon_2' = \varepsilon_2 - i60 \cdot \lambda \cdot \sigma_2,$$

θ, φ – меридианный (рис. 1) и азимутальный углы, определяющие направление радиус-вектора в точку наблюдения M .

В [2] показано, что сопротивление Z_a горизонтальной подземной антенны практически равно волновому сопротивлению провода Z_B , что позволяет считать оболочку кабеля аналогом антенны бегущей волны.

Действующая высота h_0 подземной антенны бегущей волны определена в [2].

При известной действующей высоте антенны напряжения помехи U_{II} и U'_{II} определяются так

$$U_{II} = |E'(f, h)| \cdot |h_0|, \quad U'_{II} = K_3 \cdot U_{II}.$$

Таким образом, при заданных величинах $E(f, 0), h, \epsilon_2, \sigma_2, d, K_3$ можно рассчитать значение U'_{II} и сравнить его с допустимым напряжением помехи $U_{IIД}$. Величина $U_{IIД}$ для ЦСПИ, функционирующих на основе xDSL технологий неизвестна и подлежит экспериментальному определению.

При рассмотрении режима излучения кабеля задается величина U_C и h , параметры почвы ϵ_2, σ_2 и кабеля d, K_3 . Затем определяются напряжение U'_C на входном сопротивлении антенны и напряженности поля излучения

$$U'_C = K_3 \cdot U_C, \quad |E'(f, h)| = \frac{U'_C}{|h_0|}, \quad E(f, 0) = \frac{E'(f, h)}{L(f, h)}.$$

В заключении доклада приводятся результаты расчетов, доказывающих возможность практического применения предложенной модели.

Выводы. Совокупность принятых приближений и приведенных соотношений представляет собой новую модель отрезка кабеля канала связи в виде подземной антенны бегущей волны.

Эта модель является более универсальной по сравнению с моделью из [1] и позволяет рассчитать не только помехозащищенность, но и скрытность кабельного канала связи, с учетом его характеристик направленности. Для проведенных конкретных расчетов необходимо знание величины $U_{IIД}$ и K_3 , подлежащих экспериментальному определению.

Литература

1. Михайлов М. И., Разумов Л. Д. Защита кабельных линий связи от влияния внешних электромагнитных полей. – М.: «Связь», 1967. – с. 343.
2. Лавров Г. А., Князев А. С. Приземные и подземные антенны. – М.: «Советское радио», 1965. – с. 472.