

DOI: 10.30987/conferencearticle_5e028214ee1a60.36742615
УДК 621.3

Д.А. Черемухин, Л.Г. Стаценко
(г. Владивосток, Дальневосточный Федеральный университет)
D.A. Cheremukhin, L.G. Statsenko (Vladivostok, FEFU)

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПОДВОДНОЙ СВЯЗИ ЧЕРЕЗ МАГНИТНУЮ ИНДУКЦИЮ

REALIZING UNDERWATER COMMUNICATION
THROUGH MAGNETIC INDUCTION

В данной статье рассматривается перспективность применения магнитной индукции для подводных каналов связи, а также отличия от часто используемых видов связи. Также определяются различные составляющие потерь при прохождении сигнала под водой, и графические зависимости от параметров сигнала.

This article discusses the prospects of using magnetic induction for underwater communication channels, as well as differences from commonly used types of communication. Also, various components of losses during the passage of the signal under water, and graphic dependences on the signal parameters are determined.

Ключевые слова: магнитная индукция (МИ), скорость передачи, информация, подводная связь, канал связи, затухание, потери при распространении, магнитная проницаемость, постоянная Больцмана, магнитное поле.

Keywords: magnetic induction, transmission speed, information, underwater communication, communication channel, attenuation, propagation loss, magnetic permeability, Boltzmann constant, magnetic field.

Подводные коммуникации, основанные на МИ, отличаются от акустических или оптических волн, тем, что они реализованы с помощью магнитного поля, изменяющегося по времени, и позволяющего вести обмен информацией между передающей и принимающей сторонами.

Реализуя подводную связь на базе МИ, исследования приобретут перспективный характер, за счет незначительной задержки распространения сигнала, а также бесшумных и незаметных свойств проведения подводных операций.

Общее и повсеместное использование акустической волны, позволяет осуществлять связь под водой, которая сопровождается задержкой распространения вместе с ненадежным и непредсказуемым характером канала, который имеет низкую скорость передачи данных, что вызвано сложным многолучевым способом распространения. Весьма значительно влияние эффекта Доплера, кроме того имеется большая зависимость этих свойств от величины температуры и давления в водной среде.

Незначительная задержка распространения МИ волны обуславливается ее со скоростью распространения под водой: 33300000 м/с, в то время как у акустических волн: 1500 м/с. Эта чрезвычайно высокая скорость распространения в дальнейшем поможет проектировать и создавать разнообразные подводные сетевые сервисы (например, локальные сети).

В МИ-каналах связи, передача и прием информации осуществляются с помощью пары катушек небольших размеров - антенн (информация переносится изменяющимся во времени магнитным полем). Такое магнитное поле генерируется модулированным синусоидальным током в катушке МИ-антенны на передатчике [1]. Приёмник получает информацию с помощью демодулированного индуцированного тока в спиральной антенне, как показано на рисунке 1. В МИ-каналах связи дальность передачи меньше, чем длина волны.

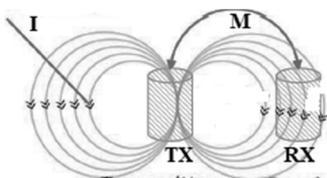


Рис.1. МИ система передачи данных

Ослабление МИ сигнала в водной среде. Потери при прохождении.

Передача сообщений через проводные среды, такие как морская вода возможна только на небольших расстояниях. Магнитное поле утрачивает свою интенсивность с пройденным расстоянием в среде, и по мере углубления в воду, согласно формуле 1:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}}, \quad (1)$$

где σ - электрическая проводимость, См/м.

Магнитная проницаемость в вакууме находится по формуле 2:

$$\mu = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \quad (2)$$

Магнитные антенны предпочтительно должны работать на низких частотах в морской воде из-за затухания и наведенных вихревых токов, создающих вторичное поле в проводящей среде.

Ослабление (обратное к поверхностному эффекту) определяется формулой 3:

$$\alpha = \frac{1}{\delta} = \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}, \quad (3)$$

где σ – электропроводность морской воды.

Следовательно, потери от ослабления, найдем из формулы 4:

$$PL_{\alpha} = 20 \cdot \log(e^{\alpha r}) = 8,69 \cdot \alpha \cdot r \quad (4)$$

На рис. 2 показана глубина проникновения зависящая от частоты (морская вода – синий цвет ($\sigma = 4 \frac{\text{См}}{\text{м}}$) и пресная – оранжевый цвет ($\sigma = 0,01 \frac{\text{См}}{\text{м}}$).

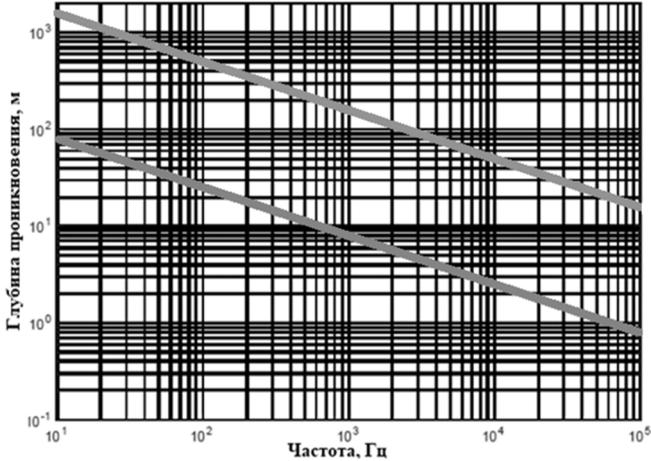


Рис. 2. Глубина проникновения для морской и пресной воды

Также при подводной передаче сигнала, на него может действовать тепловой шум.

Мощность шума определяется выражением 5:

$$N(f) = 4 \cdot k \cdot T \cdot \Delta f, \quad (5)$$

где k - Постоянная Больцмана ($k \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К);

T - температура в Кельвинах;

Δf – полоса пропускания.

Далее вычислим принимаемую мощность по формуле 6:

$$P_{RX} = 20 \log(\omega \cdot \mu \cdot H \cdot K_y), \quad (6)$$

где P_{RX} – принимаемая мощность, дБ.

С помощью закона Био-Савара-Лапласа, выразим напряжённость МП по формуле 7:

$$dB = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Idl}{R^2}; B = \int dB = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \oint dl = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\pi RI}{R^2} = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{2R} \quad (7)$$

Магнитная индукция связана с H , по формуле 8:

$$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H \quad (8)$$

Определим напряжённость МП по формуле 9:

$$H = \frac{B}{\mu \cdot \mu_0} = \frac{I}{2R} \quad (9)$$

Максимальную теоретическую скорость по каналу передачи информации можно рассчитать по формуле емкости по формуле 10:

$$c = w \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_N} \right), \quad (10)$$

где w -полоса пропускания (Гц);

$\frac{P_s}{P_N}$ - отношение мощности сигнала к шуму.

Определим мощность шума:

$$P_{\text{ш}} = 30 \cdot 10^{-17} \text{ Вт}$$

SNR для АМ сигнала примем 20, и произведем расчет принимаемой мощности по формуле 11:

$$SNR = \frac{P_s}{P_N} = 20 \quad (11)$$

Следовательно, при коэффициенте $K = 3$, $f = 153$ кГц, и $R = 10$ метров:

$$P_c = 60 \cdot 10^{-16} \text{ Вт}$$

$$60 \cdot 10^{-16} = 20 \log(\omega \cdot \mu \cdot H \cdot K_y)$$

$$I = 8 \text{ А}$$

Напряженность МП:

$$H = \frac{I}{2R} = 0,4 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Рис. 3 показывает принимаемую мощность сигнала, которая зависит от удаленности передатчика и приемника.

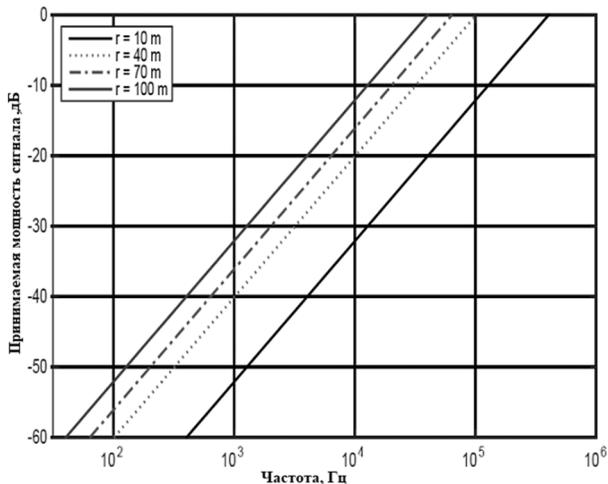


Рис. 3. Принимаемая мощность сигнала в зависимости расстояния

Список литературы

1. Domingo, C. «Magnetic Induction for Underwater Wireless Communication Networks», IEEE transactions on antennas and propagation, vol. 60, no. 6, June 2012.

Материал поступил в редколлегию 11.10.19.