

УДК 621.396

*Скочко А. Я., студент гр. ТТ-11,  
Коломієць Р. О., канд. техн. наук, старш. викладач  
Житомирський державний технологічний університет*

### **АНТЕНА ДЛЯ ЗВ'ЯЗКУ З ПІДВОДНИМИ ПРИСТРОЯМИ**

Переважна більшість антен, які розробляються для радіозв'язку, функціонують у повітрі – середовищі, втратами у якому нехтують внаслідок їх малості. Проте окремі галузі людської діяльності потребують антен для підводного зв'язку. Насамперед це два напрямки застосування:

- так звані підводні бездротові сенсорні мережі (underwater wireless sensor network - UWSN) – мережі сенсорів фізичних та хімічних величин, які закріплені у різних частинах водойми з метою екологічного моніторингу або розміщуються на тілі підводних тварин для дослідження їх міграції. Сенсори оснащуються радіомодулями, за допомогою яких об'єднуються у мережу для збору інформації або централізовано передають інформацію на сервер. Цей напрям має виняткову науково-дослідницький характер.

- керування безпілотними підводними апаратами, організація відеозв'язку за їх допомогою. Цей напрям має як цивільне (дистанційний контроль стану підводних комунікацій та опор мостів, екологічний моніторинг шляхом забору проб води у різних точках водойми тощо), так і військове застосування (підводні дрони-розвідники, зв'язок з підводними човнами).

В подібних системах використовуються два типи зв'язку: між двома підводними пристроями та між підводним і надводним пристроєм. Перше використовується найбільш часто, тому що приймальна антена, яка передає сигнал на серверну частину (надводну), як правило, теж виконується як підводна, але вона розміщується неглибоко, і з підсилювачем та подальшою системою для детектування, фільтрації, підсилення та декодування сигналу з'єднується за допомогою кабелю. Так роблять тому, що при переході між середовищами з різними фізичними параметрами електромагнітна хвиля заломлюється.

Найбільшим обмеженням роботи антени під водою є той факт, що вода – середовище з втратами. Електромагнітне випромінювання затухає не лише пропорційно відстані між передавачем та приймачем, а ще й просто тому, що поширюється у середовищі, в якому  $\varepsilon > 0$  (тобто частка потужності випромінювання ще витрачається на поляризацію молекул середовища поширення). Доля цієї потужності залежить від частоти випромінювання.

Найкращими середовищами для поширення електромагнітних хвиль є діелектричні середовища, у яких питома провідність ( $\sigma$ , вимірюється у См/м) дорівнює нулю вони називаються середовищами без втрат. Якщо провідність середовища зростає, то ослаблення радіохвиль збільшується. Діелектрична проникність стає комплексною величиною:

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0 - j \frac{\sigma}{\omega} = \varepsilon' - j \varepsilon'' = \varepsilon' (1 - j \operatorname{tg} \delta),$$

де  $\varepsilon_0$  – діелектрична проникність вакууму,  $\sigma$  – електрична провідність середовища,  $\omega$  – кутова частота, і  $\varepsilon_r$  – відносна діелектрична проникність води, яка, згідно довідникових даних, може варіювати від 55,720 до 87,740 і  $\delta$  – кут діелектричних втрат.

Електрична провідність води також варіює від  $5,5 \cdot 10^{-6}$  См/м (деонізована вода) до 5,3 См/м (морська вода). Для прісної води (річки, прісноводні водойми) прийнято значення  $\sigma = 5 \cdot 10^{-2}$  См/м.

Хвильовий опір води становить

$$Z = \sqrt{\frac{j\omega}{\sigma - j\omega\varepsilon_r}},$$

а константа поширення:

$$\gamma = \omega \sqrt{\frac{\varepsilon'(1 - \cos \delta)}{2 \cos \delta}} + j\omega \sqrt{\frac{\varepsilon'(1 + \cos \delta)}{2 \cos \delta}}.$$

Також є дані про залежність  $\varepsilon_r$  води від температури, і ця залежність нелінійна. На основі наведених рівнянь шляхом мінімізації  $Z$  та максимізації  $\gamma$  було з'ясовано, що оптимальним «вікном» для організації радіозв'язку під водою є діапазон частот електромагнітних хвиль від 100 МГц до 1 ГГц.

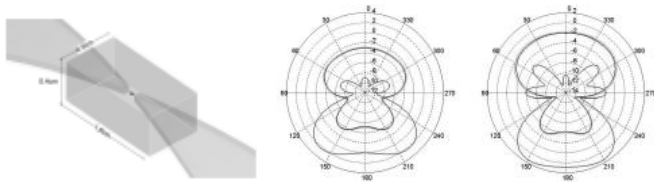


Рис. 1

На рис. 1 представлена модель двохпелюсткової антени для організації підводного зв'язку та її діаграми направленості на частотах 454 та 596 МГц.