

УДК 621.319.54

## РЕЗОНАНСНА СИСТЕМА БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Вдовиченко А. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: [full.throttle.go@googlemail.com](mailto:full.throttle.go@googlemail.com)

Рішення реалізації бездротової передачі за допомогою електромагнітної взаємодії представлені в таблиці 1. Найбільшого розповсюдження здобули пристрої, що використовують магнітне поле простого або резонансного типу [1]. Їх розробляють такі фірми, як WiTricity, Sony, Fulton Innovation та інші. Дальність роботи резонансних систем  $D_{\text{range}}$  не перевищує 10 лінійних розмірів випромінюючого контуру  $D_{\text{ant}}$ . В цих системах наявний вплив на біологічні об'єкти, що наразі активно досліджується в межах європейської метрологічної програми для інновацій та досліджень EMPIR та ін. [2]. Недолік таких систем – це необхідність центрально-осьового орієнтування, що робить деякі застосування, наприклад, підзарядку в русі – непрактичними. Рішення, що використовують електромагнітне випромінювання, реалізують фокусування вузького променя електромагнітної енергії, з довжиною хвилі  $\lambda$ , на приймачі за допомогою ФАР, ректен, лазерів та ін. Можлива дальність таких систем є найбільшою, проте біологічний та матеріальний вплив у випадку неточного позиціонування – надзвичайно високий. Відповідно, для практичного використання, придатні системи лише малої потужності [3]. Системи, що використовують електричне поле розробляють такі фірми, як Murata, Solace Power та ін. [4]. Дальність передачі близька до безрезонансних систем з використанням магнітного поля.

Таблиця 1. Рішення по реалізації безпроводної передачі електричної енергії

|                   | Поле ближньої дії<br><i>Near – field</i> | Поле середньої дії<br><i>Mid- Field</i>                 | Поле дальньої дії<br><i>Far-field</i>                                      |
|-------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Відстань          | $D_{\text{range}} \leq D_{\text{ant}}$   | $D_{\text{range}} \leq 10 \cdot D_{\text{ant}}$         | $D_{\text{range}} \geq \lambda$                                            |
| Діюча<br>складова | Магнітне поле<br>( <i>Inductive</i> )    | Резонанс магн. поля<br>( <i>Resonant inductive</i> )    | Електромагнітне<br>випромінювання<br>(радіохвилі, ФАР,<br>ректени, лазери) |
|                   | Електричне поле<br>( <i>Capacitive</i> ) | Резонанс електр. поля<br>( <i>Resonant capacitive</i> ) |                                                                            |
| Вплив             | Низький                                  | Середній                                                | Високий                                                                    |

Резонансні системи з використанням електричного поля широко не представлені. Прикладом таких систем є розробки Ніколи Тесли [5]. В дослідженні [6] було виявлено, що випромінювання в таких пристроях може містити складову змінного магнітного поля та електромагнітну складову, а

основним діючим фактором є електричне поле. Недоліком таких пристроїв є те, що передавач та приймач послідовно під'єднанні до землі, що формує однопровідну систему передачі, в якій земля виконує роль провідника. Як було вказано в [7], можливе вдосконалення пристрою, що дозволяє перейти до повністю безпроводної системи передачі електричної енергії.

Дослідження характеристик випромінювання здійснено за допомогою вимірювача рівня електромагнітного поля Aktacom АТТ-8509, що має діапазон вимірювання напруженості електричного поля від 0,01 до 200 В/м, та щільності потоку енергії від 0,001 до 99,999 Вт/м<sup>2</sup>.

Для випромінюючого контуру з резонансною частотою 565,8 КГц, зовнішнім діаметром  $D_{\text{ant}} = 0,2$  м, прикладеною середньоквадратичною напругою генератора 100 В, та потужністю споживання 25 Вт, при фонових показниках напруженості електричного поля 4,5 В/м та щільності потоку енергії 0,06 Вт/м<sup>2</sup>, було проведено вимірювання напруженості електричного поля  $E_1$  та  $E_2$  та щільності потоку енергії  $P_1$  та  $P_2$  в двох протилежних напрямках від центру резонуючого контуру. Результати вимірювання та результати апроксимацій, що проведені відносно середніх значень напруженості електричного поля  $E_{\text{mean}}$  та щільності потоку енергії  $P_{\text{mean}}$  на відстані 2 м представлені на рисунку 1. Враховуючи результати вимірювання, можна стверджувати, що діючим фактором є змінне електричне поле. Напруженість електричного поля зменшується обернено пропорційно квадрату відстані, а щільність потоку енергії має обернену залежність четвертого ступеня від відстані.

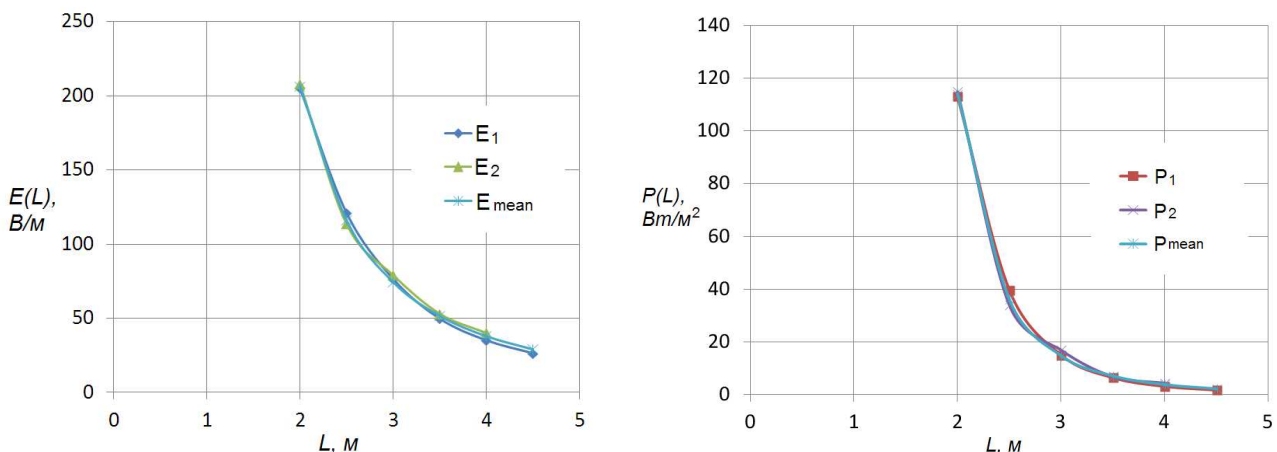


Рис. 1. Графіки зміни напруженості електричного поля  $E(L)$  та щільності потоку енергії  $P(L)$  залежно від відстані  $L$

Підсилюючий генератор формує меандр, що розкладається на нескінечний ряд затухаючих непарних гармонік. Дослідження спектральних та резонансних характеристик резонуючого контурів здійснено за допомогою спектрального

аналізатора RIGOL DSA815 та цифрового осцилографа SIGLENT SDS1102CML. Результати дослідження резонансних частот представлені в таблиці 2. Як видно з даних таблиці, кожна наступна резонансна частота відстає від кратного непарного номера гармоніки на певний коефіцієнт уповільнення. Випромінювання кожної наступної гармоніки буде послаблюватись все сильніше. Повністю виключити вплив вищих гармонік можна використовуючи підсилюючий генератор, вихідний сигнал якого є чистою синусоїдою.

Таблиця 2. Резонансні частоти випромінювача

| Номер гармоніки | Частота гармоніки, КГц | Резонансна частота антени, КГц | Коефіцієнт уповільнення |
|-----------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 1               | 146,7                  | 146,7                          |                         |
| 3               | 440,1                  | 384,6                          | 0,87                    |
| 5               | 733,5                  | 609,4                          | 0,83                    |

Резонансна бездротова система з використанням електричного поля має сферичну діаграму направленості, що дозволяє створити пристрій, придатний для живлення мобільних систем, безпілотних засобів транспортування, безконтактних датчиків та пристроїв для рухомих деталей механізмів.

*Ключові слова:* електричне поле, резонанс, бездротова передача енергії.

#### **Література**

- [1] J. D. Joannopoulos, A. Karalis, and M. Soljacic, “Wireless non-radiative energy transfer”, *Patent US 10,666,091*, 2020.
- [2] M. Zucca, B. Loader, M. Schmidt, J. Welinder, K. Tammi, J. Bruna Romero, L. Pichon, F. Freschi, P. Bauer, V. Blandow, A. Maffucci, N. Femia, and N. Kuster, “The project “Metrology for Inductive Charging of Electric Vehicles””, in *Precision Electromagnetic Measurements (CPEM)*, July 2018, pp. 770–771. DOI: 10.1109/CPEM.2018.8501202.
- [3] S. Shyma, and E. Sindhuja, “Wireless Power Transmission from Solar Power Satellite”, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 5, Issue 2, February-2014 ISSN 2229-5518.
- [4] Nagesh Polu, Mohammed Jahangir Alam, Sheikh Mominul Islam, and Nima Soltani, “Wireless electric field power transfer system, method, transmitter and receiver therefor”, *Patent US 2019/0165612*, 2019.
- [5] N. Tesla, “Apparatus for transmission of electrical energy”, *Patent US 649,621*, 1900.
- [6] G. E. Leyh, and M. D. Kennan, “Efficient Wireless Transmission of Power Using Resonators with Coupled Electric Fields”, in *40th North American Power Symposium 17th*, Calgary, 2008.
- [7] A. V. Vdovychenko, and Y. M. Tuz, “Power Measurement at Wireless Transmission of Electricity in the Frequency Range from 0.01 to 10 MHz”, in *Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM-2018)*, Paris, France, July 2018, pp. 75–76. doi:10.1109/CPEM.2018.8500807.