

РОЗВИТОК БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ В СВІТІ

Настенко В.Д., студент, Хоменко О.В., к.т.н., доцент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Відомо, при проходженні електричного струму по ЛЕП спостерігається явище падіння напруги, яке залежить від опору дроту. Технологія бездротової передачі електричного струму (далі БПЕС) дозволяє вирішити саме цю проблему, адже при БПЕС не враховується опір проводу.

Мета роботи. В роботі розглянуті можливості бездротової передачі електричного струму та шляхи її дослідження і розвитку в різних країнах світу.

Матеріал дослідження. Технологія БПЕС має довгу історію і починається вона з 1820 року - відкриття Андре Марі Ампером закону [1], що вказує на властивість електричного струму виробляти магнітне поле. Перший патент на використання БПЕС реєструє Австрійський вчений Микола Тесла у 1897 році. Але після його смерті аж до 2007 року не було зареєстровано жодного винаходу БПЕС. Саме того року БПЕС було надане “друге життя”.

У 2007 році група американських вчених з Массачусетського Технологічного Інституту успішно завершила розробку радіохвильової БПЕС [2]. Дослідникам вдалося відправити спрямований електричний пучок на відстань більш ніж два метри від джерела живлення та запалити за його допомогою 60-ватну лампочку. Проект отримав назву “WiTricity” (“Wireless electricity” - бездротова електрика).

В досліді було використано пристрій, що являє собою дві антени (діаметр основної антени становить трохи більше півметра) з міді, одна з яких створює в просторі навколо себе електромагнітне поле, що індукує змінний електричний струм в контурі другої антени. Перший дослід дав досить непогані результати: передачу електроенергії, що здатна підтримувати тривалий час роботу 60-ватної лампочки на відстані від 0,6 до 1 метра при коефіцієнті корисної дії близько 75%, та на відстані до чотирьох метрів при ККД від 75 до 50% в залежності від відстані.

За основу опису їх фізичної моделі (рис. 1) було взято наступний набір лінійних рівнянь:

$$\dot{a}(t) = (i\omega_m - \Gamma_m) a_m(t) + \sum_{n \neq m} i k_{nm} a_n(t) + F_m(t),$$

де індекси позначають різні резонансні об'єкти. Змінні у формулі визначені так, що енергія, яка міститься в об'єкті m - це $|a_m(t)|^2$, ω_m - це резонансна кутова частота цього ізольованого об'єкта, Γ_m - його власна швидкість розпаду (наприклад, через поглинання і випромінюються втрат). В цій структурі відчеплений і не збуджений осцилятор з параметрами ω_0 і Γ_0 буде розвиватися в часі як $\exp(j\omega_0 t - \Gamma_0 t)$, $k_{nm} = k_{mn}$ є коефіцієнтами зв'язку між резонансними об'єктами, зазначеними індексами, $F_m(t)$ - ведучі умови.

Також було перевірено рівняння, за яким визначається коефіцієнт зв'язку моделі k_{DS} :

$$P_{DS} = \int dr E_s(r) * J_D(r) = - \int dr [A_s(r) + \nabla \phi_s(r)] * J_D(r) =$$

$$= - \frac{1}{4\pi} \iint dr dr' \times \left[\mu_0 \frac{J_s(r')}{|r' - r|} + \frac{\rho_s(r')}{\epsilon_0} \frac{r' - r}{|r' - r|^3} \right] * J_D(r) = -j\omega M I_s I_D,$$

де M є ефективна взаємна індукція, ϕ - скалярний потенціал, A - векторний потенціал, індекс s вказує на те, що електричне поле пов'язане з джерелом. Із стандартних положень теорії пов'язаних мод відомо, що $k_{DS} = k_{SD} = k = \omega M / [2(L_s L_D^{1/2})]$. Коли відстань D між центрами котушок набагато більше, ніж їх характерний розмір, коефіцієнт зв'язку шкал k буде з D^{-3} - залежністю характеристики диполь-дипольної взаємодії; k і Γ є функціями частоти.



Рисунок 1 – Алансон Сампл з першою презентацією радіохвильової БПЕС на форумі IDF 2008

Станом на нинішній день, технологія радіохвильової БПЕС під маркою WiTricity [3] досягла значних успіхів і тепер їх тренди можуть видавати ККД від ~100 до 80% на відстань до 5 метрів. Варто зауважити, що у співпраці з Українським винахідником Іваном Чубою та iBlazr розробили пристрій XE [4] на основі останніх розробок WiTricity, що дозволяє заряджати i-Phone 6 та 6s з потужністю до 5 ват на відстані до 5 метрів.

Така технологія БПЕС не може залишатися без уваги, адже другою її перевагою є можливість передачі електричного струму крізь одяг та стіни кімнат, що є актуально у наш час.

Технології радіохвильової БПЕС розробляють багато вчених з різних країн світу. Одними із них є і російські винахідники. Вони внесли до американської технології ряд удосконалень, що дозволять збільшити ККД при відстанях більших за два метри [5]. Їх вдосконаленнями є заміна мідних котушок на діелектричні керамічні резонатори і їх більш висока частота. Розрахунки показують, що теоретично ККД методу, запропонованого російськими фахівцями, може досягати

80%, хоча реалізація подібних результатів на практиці потребуватиме додаткових експериментів. Останнього часу більш точних та нових експериментів зафіксовано не було.

Окрім зарядки побутової техніки, були розглянуті методи бездротової зарядки електромобілів. Основними елементами системи є дві індукційні котушки. Одна (приймальня) розташовується в днище автомобіля, а друга (передає) вбудовується прямо в дорожнє покриття на місці парковки автомобіля. Якщо автомобіль припаркований правильно, котушки знаходяться одна над іншою, як на малюнку. До нижньої (передавальної) котушці подається змінний електричний струм, і котушкою створюється змінне магнітне поле. Через це, у другій котушці виникають індуквані струми, які і заряджають акумулятори електромобіля.

Такі винаходи можна віднести до локальних технологій БПЕС. Їх можна вважати ефективними, коли стикаємося з електропостачанням всередині оселі, але вони є не ефективними коли необхідна передача енергії від станції до споживача.

У 2015 році було вперше успішно проведено експеримент із зразком глобальної БПЕС [6]. Компанія Mitsubishi Heavy Industries (МНІ) [7] завершила тестування «бездротової кінетичної енергії» - нової технології для космічних сонячних енергетичних систем (SSPS), яка стане основою вироблення електроенергії в майбутньому. Зараз МНІ досліджує можливості бездротової передачі енергії на далекі відстані.

Під час тестування від передавального пристрою (рис. 2) за допомогою мікрохвилі було відправлено 10 кВт енергії. Енергію зафіксували на приймальному пристрої (рис. 3), розташованому на відстані 500 метрів, за допомогою світлодіодних лампочок, які «спіймали» передану енергію. Такі відстань і потужність відкривають нові можливості у розвитку технологій бездротової передачі енергії.

Програма SPSS, з прицілом на яку виконувався експеримент, передбачає, що енергія буде передаватися із геостационарної орбіти Землі у вигляді мікрохвильового або лазерного випромінювання. Приймачем її виступатимуть



Рисунок 2 – Передатчик бездротової кінетичної енергії



Рисунок 3 – Приемальный пристрій бездротової кінетичної енергії

спеціальні станції, які планують побудувати на штучному острові в Токійській затоці. Подібні проекти планувалися ще американськими вченими в 60-х роках минулого століття, але в серйозній розробці вони з'явилися тільки з 2009 року.

Висновки: Промислове впровадження технологій БПЕС в майбутньому може дати наступні переваги: мінімізація втрат потужності, що виникають при використанні ЛЕП, можливість зміни частоти змінного струму при передачі, що дозволить країнам з стандартом частоти 60 Гц передавати струм у країни з частотою 50 Гц і навпаки, можливість передачі на великі відстані, недосяжні для електроенергетичної промисловості в наш час тощо.

Перелік посилань

1. Ampère's Force Law [електронне посилання]. Режим доступу: http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/unit_systems/ampereForce.html
2. A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J.D. Joannopoulos, P. Fisher, M. Soljacic Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances - [електронне посилання]. Режим доступу: <http://science.sciencemag.org/content/317/5834/83.full>
3. Офіційний сайт компанії WiTricity - [електронне посилання]. Режим доступу: <http://witricity.com/>
4. A. Degeler Ukrainian startup: We've solved long-range wireless charging - [електронне посилання]. Режим доступу: <http://arstechnica.com/information-technology/2015/12/ukrainian-startup-xe-claims-to-have-solved-wireless-charging/>
5. M. Song, I. Irosh, P. Kapitanova, E. Nenasheva, P. Belov Wireless power transfer based on magnetic quadrupole coupling in dielectric resonators - [електронне посилання]. Режим доступу: <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/apl/108/2/10.1063/1.4939789>
6. Успешный эксперимент по передаче энергии для космического проекта - [електронне посилання]. Режим доступу: <https://geektimes.ru/post/247208/>
7. Офіційний сайт Mitsubishi Heavy Industries - [електронне посилання]. Режим доступу: <https://www.mhi-global.com/>