

УДК 621.3.05

О.В. Будьонний, канд. техн. наук**М.А. Прокопець**, магістрант**Є.Ю. Коваленко**, магістрант

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

БЕЗКОНТАКТНА ЗАРЯДКА АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Пропонується використання безконтактного заряду акумуляторних батарей на основі теорії тезлівських процесів для передачі енергії без дротів на невеликій відстані. Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передавальними та приймальними антенами з урахуванням крайових ефектів. Проведено аналіз залежності струму та напруги навантаження від таких факторів: зміщення розташування пристрою, який заряджається, відносно центру блоку підзарядки; відстані між передавальними та приймальними антенами; значення індуктивності в навантаженні; робочої частоти.

Вступ

Останнім часом широкого використання набувають технології на основі електронних датчиків (ідентифікаторів) [1], які можуть бути вбудовані в упаковку товарів чи одяг для контролю їх переміщень у магазинах, складських приміщеннях тощо. Умовами використання таких датчиків є наявність вбудованого джерела живлення та герметичність. Ці умови можуть бути вирішені за допомогою безконтактної підзарядки акумуляторних батарей.

Однією з переваг бездротового способу передачі енергії, в порівнянні із найбільш розповсюдженим нині провідниковим, є відсутність елементів, що з'єднують джерело та приймач електричної енергії, а також можливість передачі енергії герметичним об'єктам.

Передача енергії може здійснюватися за рахунок струмів, які виникають при проходженні через ємності між «антенами» блоку підзарядки та ідентифікатора (рис. 1). У цьому випадку під терміном «антени» слід розуміти: провідник будь-якої форми, що утворює ємності, які в науковій літературі також мають назву часткові ємності [2]. У процесі передачі електричної енергії магнітна складова електромагнітного поля значно менша за електричну складову, на відміну від передачі за допомогою випромінювання електромагнітної енергії.

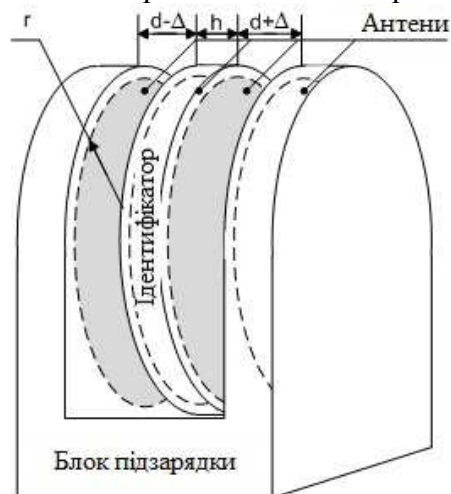


Рис. 1. Підзарядка ідентифікаторів: r – радіус пластинчастих антен; d – відстань, на яку здійснюється бездротова передача енергії; h – відстань між антенами ідентифікатора; Δ – зміщення ідентифікатора відносно центру блоку підзарядки

Мета

Метою цієї роботи є визначення параметрів процесу безконтактного заряду акумуляторних батарей для малогабаритних електронних пристроїв.

Моделювання та аналіз навантажувальних характеристик

Функціональна схема безконтактної підзарядки акумуляторних батарей представлена на рис. 2.

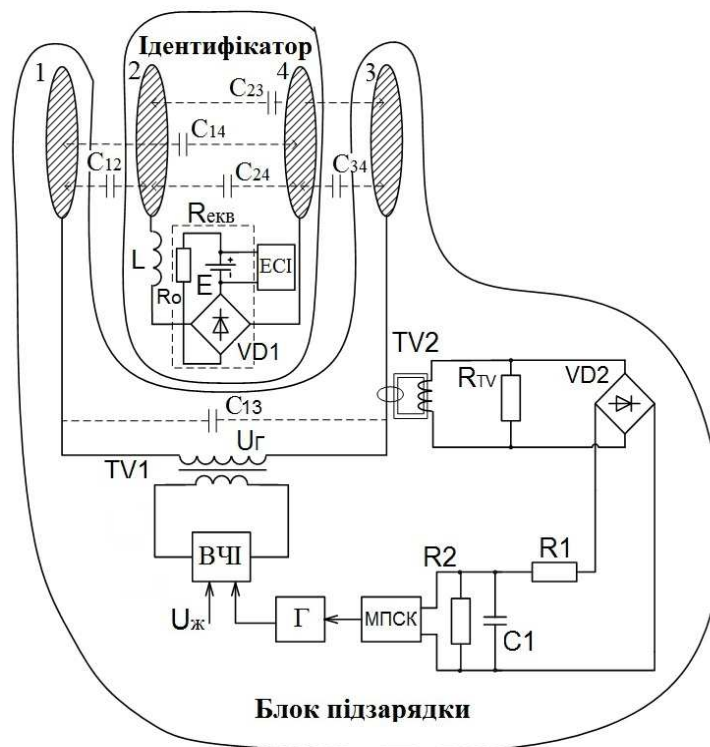


Рис. 2. Функціональна схема безконтактної підзарядки акумуляторних батарей

Розглянемо принцип роботи блоку підзарядки за цією схемою. Напряга живлення $U_{ж}$ надходить до високочастотного інвертора (ВЧІ), а далі поступає на трансформатор $TV1$, який використовується для одержання рівня необхідної напруги $U_{Г}$. Передача енергії від блоку підзарядки до ідентифікатора здійснюється за допомогою часткових ємностей C_{12} , C_{13} , C_{14} , C_{23} , C_{24} , C_{34} між антенами, де 1, 3 – передавальні антени, а 2, 4 – приймальні антени. Навантаження поданої схеми має вигляд індуктивності L та еквівалентного навантаження $R_{екв}$, які разом з частковими ємностями між антенами утворюють резонансну систему $R_{екв}$ представлено у вигляді струмообмежуючого опору R_0 , випрямляючого моста $VD1$ та акумуляторної батареї E . До акумуляторної батареї E під'єднано електронну схему ідентифікатора (ЕСІ). Трансформатор струму $TV2$ введений у схему для вимірювання значення струму у вторинній обмотці трансформатора $TV1$. Напряга після $TV2$ випрямлена діодним мостом $VD2$ через RC -фільтр (R_1 та C_1) надходить на мікропроцесорну систему керування (МПСК) та генератор $Г$, імпульси якого керують ВЧІ.

Застосування пластинчастих антен, у порівнянні із дротяними антенами [3], дозволяє отримати більший струм заряду, за рахунок збільшення величини часткових ємностей.

Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передавальними та приймальними антенами. Еквівалентна схема передачі енергії при цьому є невірноваженою мостовою схемою.

Розрахунок часткових ємностей проводився з урахуванням результатів праць [3-5]. При цьому необхідно врахувати, що об'єкт, який заряджається, може бути зміщений відносно центру блоку підзарядки на величину Δ , де Δ – визначається повітряним зазором між корпусом блоку підзарядки та корпусом пристрою, який підзаряджується.

Аналіз проводився методом еквівалентного генератора з додатковим урахуванням крайових ефектів [2], які необхідно врахувати при невеликих розмірах передавальних та приймальних антен та високих робочих частотах, за умов: радіус пластинчастих антен $r = 10\text{мм}$; відстань, на яку здійснюється бездротова передача енергії, при розташуванні

об'єкта, що заряджається, по центру блоку підзарядки $d = 1\text{мм}$; відстань між антенами 2 та 4 (рис. 2) $h = 5\text{мм}$; частота генератора $f = 10\text{МГц}$; індуктивність котушки $L = 50\text{мкГн}$; напруга на вторинній обмотці $TV1$ $U_r = 22\text{В}$; еквівалентний опір навантаження:

$$R_{\text{екв}} = R_o + R_{a.б.} = R_o + \frac{U_{a.б.}}{I_{з.с.}} = 13 + \frac{2,3}{0,1} = 36 \text{ Ом}, \quad (1)$$

де R_o – струмообмежуючий опір, $R_{a.б.}$, $U_{a.б.}$, $I_{з.с.}$ – опір, напруга та зарядний струм акумуляторної батареї. Розміри пластинчастих антен підібрані по формі датчиків-ідентифікаторів.

Ємність відокремленої круглої пластини C_0 розраховується за формулою:

$$C_0 = \frac{\varepsilon \cdot S}{\text{arsh}(1) + \text{arsh}(1)} \approx 1.578 \text{ пФ}; \quad (2)$$

де $S = \pi r^2$ – площа пласти; ε – абсолютна діелектрична проникність середовища, для повітря близька до діелектричної проникності вакууму $\varepsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

Розрахунок часткових ємностей проводився з урахуванням крайових ефектів при умові, що $2r/(d - \Delta) > 0,25$ та зміщення ідентифікатора відносно центру блоку підзарядки рівне нулю ($\Delta = 0\text{мм}$):

$$C_{12} \approx \left[\frac{\varepsilon \cdot S}{(d - \Delta)} + 0,5C_0 \right] \cdot k_{12}, \quad (3)$$

$$C_{13} \approx \left[\frac{\varepsilon \cdot S}{(h + 2d)} + 0,5C_0 \right] \cdot k_{13}, \quad (4)$$

$$C_{14} \approx \left[\frac{\varepsilon \cdot S}{(d - \Delta + h)} + 0,5C_0 \right] \cdot k_{14}, \quad (5)$$

$$C_{23} \approx \left[\frac{\varepsilon \cdot S}{(d + \Delta + h)} + 0,5C_0 \right] \cdot k_{23}, \quad (6)$$

$$C_{24} \approx \left[\frac{\varepsilon \cdot S}{h} + 0,5C_0 \right] \cdot k_{24}, \quad (7)$$

$$C_{34} \approx \left[\frac{\varepsilon \cdot S}{(d + \Delta)} + 0,5C_0 \right] \cdot k_{34}, \quad (8)$$

де у формулах (3)-(8): перший множник – ємність пластин без урахування крайових ефектів; другий множник – коефіцієнт $k_n = 1 + A + B \cdot \ln C$, який характеризує вплив крайових ефектів на часткові ємності [2] та його значення залежно від відстані між антенами (табл. 1). Порівняльні дані значень часткових ємностей представлені в табл. 2.

Таблиця 1

Розрахункові значення коефіцієнтів A , B і C для різних k_n

Коефіцієнт k_n	Коефіцієнти при врахуванні крайових ефектів		
	A	B	C
k_{12}, k_{34}	$\frac{3d}{4r}$	$\frac{d}{\pi r}$	$\frac{r}{d}$
k_{13}	$\frac{6d + 3h}{4r}$	$\frac{2d + h}{\pi r}$	$\frac{r}{2d + h}$
k_{14}, k_{23}	$\frac{3(d + h)}{4r}$	$\frac{d + h}{\pi r}$	$\frac{r}{d + h}$
k_{24}	$\frac{3h}{4r}$	$\frac{d}{\pi r}$	$\frac{r}{h}$

Таблиця 2

Числові значення часткових ємностей

Часткові ємності	Числові значення		Зміна значення ємності
	Без урахування крайових ефектів	З урахуванням крайових ефектів	
C_{12}, C_{34}	3,571пФ	4,1пФ	+15%
C_{13}	1,186пФ	1,904пФ	+60%
C_{14}, C_{23}	1,253пФ	1,938пФ	+55%
C_{24}	1,345пФ	1,998пФ	+49%

У випадку, коли внутрішнім опором інвертора та трансформатора можна знехтувати, напруга у розімкненій вітці 2-4 визначається за формулою [6]:

$$U_{42} = U_{\Gamma} \cdot \left(\frac{Z_4}{Z_3 + Z_4} - \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \right) = 4,8 \text{ В}, \quad (9)$$

де $Z_1 = \frac{1}{j\omega \cdot C_{14}} = -j \cdot 8,21 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $Z_2 = \frac{1}{j\omega \cdot C_{34}} = -j \cdot 3,882 \cdot 10^3 \text{ Ом}$,

$Z_3 = \frac{1}{j\omega \cdot C_{23}} = -j \cdot 8,21 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $Z_4 = \frac{1}{j\omega \cdot C_{12}} = -j \cdot 3,882 \cdot 10^3 \text{ Ом}$.

Струм вітки I_{42} між антенами 4-2:

$$I_{42} = \frac{U_{42}}{\left(Z_{24} + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + \frac{Z_3 \cdot Z_4}{Z_3 + Z_4} \right)} = 0,046 + j \cdot 0,04 = 0,061e^{j40^\circ} \text{ А}. \quad (10)$$

Опір навантаження:

$$Z_{42} = \left(\frac{Z_H}{1 + Z_H \cdot j\omega \cdot C_{24}} \right) = 98,166 + j \cdot 5187 = 5188e^{j89^\circ} \text{ Ом}, \quad (11)$$

$$Z_H = R_{екв} + j\omega L = (36 + j \cdot 3,142 \cdot 10^3) = 3,142e^{j89^\circ} \text{ Ом}.$$

Струм у навантаженні:

$$I_H = \frac{I_{42}}{(1 + Z_H \cdot j\omega \cdot C_{24})} = 0,077 - j \cdot 0,065 = 0,101e^{j40^\circ} \text{ А}. \quad (12)$$

Значення переданого струму залежить від таких параметрів, як: напруги U_{Γ} на вторинній обмотці трансформатора $TV1$, відстані та крайових ефектів антен, величини повітряного зазору та зміщення розташування підзарядного об'єкта в блоці підзарядки відносно центру.

Потужність та напруга на навантаженні:

$$S_H = Z_H \cdot I_H^2 = -31,289 + j \cdot 5,716 = 31,8e^{j170^\circ} \text{ ВА}, \quad (13)$$

$$U_H = Z_H \cdot I_H = -201,055 + j \cdot 243,94 = 316e^{j129^\circ} \text{ В}. \quad (14)$$

За наведеними формулами зроблено аналіз струму та напруги навантаження від різних факторів впливу. На рис. 3, а зображена залежність струму навантаження від зміщення ідентифікатора Δ відносно центра блоку підзарядки (за умови, що $r=10\text{мм}$, $d=1\text{мм}$, $h=5\text{мм}$, $f=10\text{МГц}$, $L=50\text{мкГн}$, $U_{\Gamma}=22\text{В}$, $R_{екв}=36\text{Ом}$), яка показує, що значення струму навантаження змінюється залежно від величини Δ . Змінюючи одночасно параметри величин h , d , L та f , є можливість отримати незмінне значення струму навантаження, про що свідчить рис. 3, б ($\Delta=0\text{мм}$) та рис. 4, а.

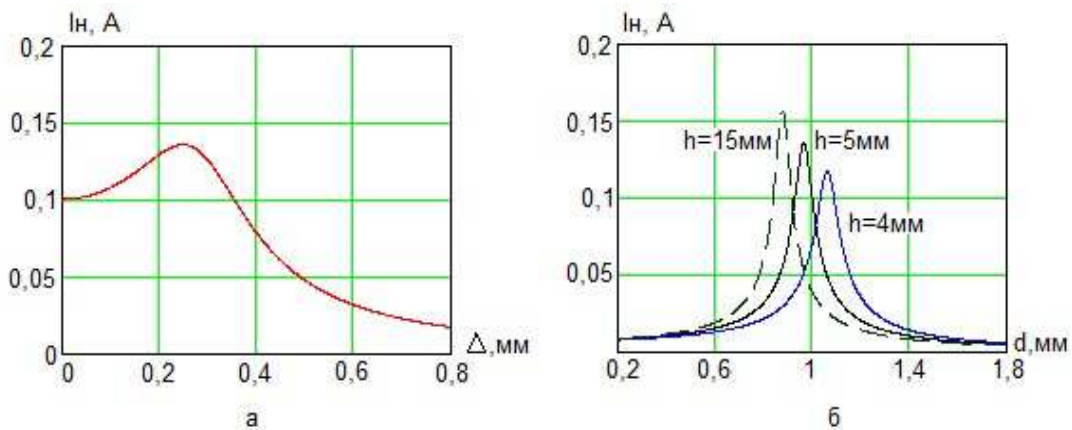


Рис. 3. Залежність струму навантаження від зміщення ідентифікатора Δ (а) та відстані d між антенами 1-2 (б)

Зі збільшенням частоти та зменшенням значення індуктивності струм навантаження та напруга на індуктивності при резонансі змінюються повільніше, що ілюструють рис. 4, а та рис. 4, б. Рисунок 5, а відображає зміну струму навантаження від частоти залежно від впливу крайових ефектів передавальних та приймальних антен та показує, що неврахування крайових ефектів може призвести до втрати або недосягнення необхідного значення струму навантаження. Залежно від частоти роботи інвертора та симетричності розташування ідентифікатора в блоці підзарядки струм навантаження набуває різних значень (рис. 5, б).

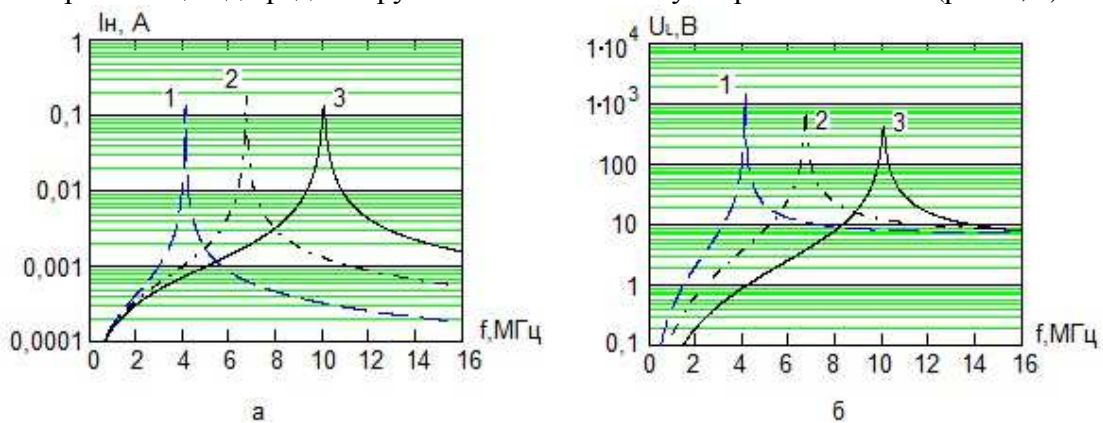


Рис. 4. Залежність струму навантаження (а) та напруги індуктивності (б) від частоти при фіксованих значеннях індуктивності: 1 – $L=400$ мкГн; 2 – $L=150$ мкГн; 3 – $L=50$ мкГн

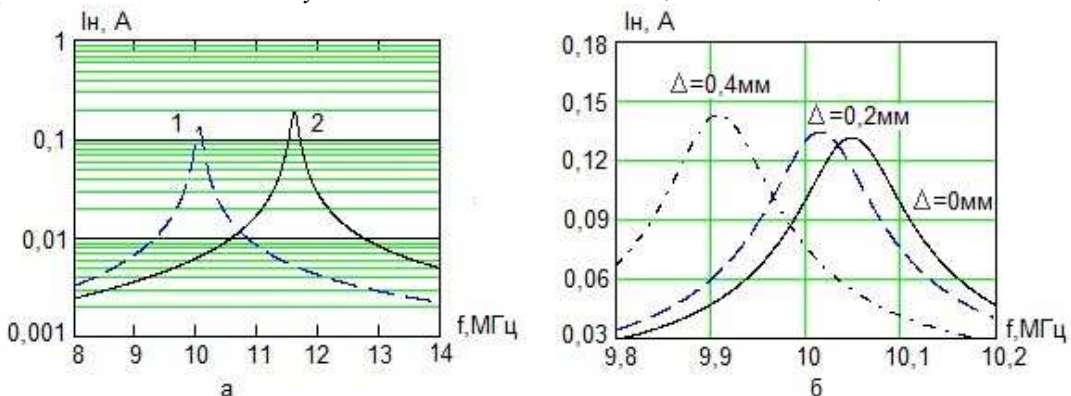


Рис. 5. Залежність струму навантаження від частоти: а) 1 – з урахуванням крайових ефектів, 2 – без урахування крайових ефектів; б) при різних значеннях зміщення Δ

Введення мікропроцесорної системи керування в схему підзарядки забезпечить визначення резонансної частоти по найбільшому значенню переданого струму. Резонансна частота, при якій досягається максимальне значення переданого струму, залежить

від зміщення розташування підзарядного об'єкта відносно центра блоку підзарядки, тому використання МПСК, яка автоматично знаходить резонансну частоту шляхом визначення максимального значення переданого струму, є доцільним.

Висновки

У цій статті проаналізовано вплив геометричних розмірів і розташування приймальних та передавальних антен на величину струму заряду.

Показано, що безконтактна передача енергії можлива, коли відстань, на яку здійснюється передача енергії, має один порядок з відстанню між передавальними антенами.

Досліджено вплив крайових ефектів для випадку незначних площ пластинчастих антен та великої робочої частоти. Показано, що вплив крайових ефектів на величину часткових ємностей є суттєвим. Значення переданого в навантаження струму зменшується з урахування крайових ефектів.

Показана необхідність введення в схему підзарядки мікропроцесорної системи керування, за допомогою якої є можливість підтримувати струм заряду на певному необхідному рівні незалежно від впливу різних параметрів.

Список використаних джерел

1. Режим доступу: <http://www.guardian.co.uk/technology/2006/nov/02/news.egovernment>.
2. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц // Теоретическая физика. Том 8. – М.: Наука, 1982. – 622 с.
3. Пентегов И. В. Применение тесловских процессов для бесконтактного заряда аккумуляторов портативных электронных и электротехнических устройств / И. В. Пентегов, И. В. Волков, А. Л. Приступа // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Проблеми сучасної електротехніки". – 2006. – Ч. 2. – С. 16-21.
4. Приступа А. Л. Развитие теории та методів розрахунку теслівських процесів щодо передачі енергії без проводів: автореферат на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.09.05 / А. Л. Приступа – Київ, 2008.
5. Пентегов И. В. К теории тесловских процессов зарядки емкостных накопителей энергии / Пентегов И. В. // Электричество. – 1996. – № 6. – С. 42-47.
6. Пентегов И. В. О возможности беспроводной передачи энергии с помощью тесловских процессов / И. В. Пентегов, А. Л. Приступа // Техническая электродинамика. – 2005. – № 3. – С. 11-15.

УДК 629.3.026

О.М. Міщенко, студент

М.В. Міщенко, канд. техн. наук

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК НА МІСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Досліджено гібридні силові установки, призначені для використання в міському пасажирському транспорті загального користування.

Постановка проблеми

Сучасна дійсність вимагає прискіпливого й економного ставлення до довкілля, особливо в містах. Інфраструктура міст не може обійтись без транспорту загального користування, який у більшості випадків є все більш затратним та екологічно небезпечним. Постійне підвищення цін на паливно-мастильні матеріали вимушує підвищувати ціни на проїзд, що негативно відбивається на добробуті населення міст.

Для зменшення витрат на паливно-мастильні матеріали, а також поліпшення екологічної ситуації в містах є сенс використовувати на міському транспорті загального користування гібридні силові установки.